

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ATRIBUTOS RELACIONADOS A AGREGAÇÃO DO SOLO SOB  
INFLUÊNCIA DE MANEJOS DE IRRIGAÇÃO EM DUAS  
CULTIVARES DE CAFÉ EM UM LATOSSOLO VERMELHO NO  
CERRADO**

**STEFANY BRAZ SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**Brasília, DF  
Fevereiro de 2020**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

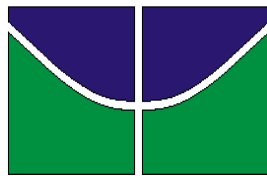
**ATRIBUTOS RELACIONADOS A AGREGAÇÃO DO SOLO SOB  
INFLUÊNCIA DE MANEJOS DE IRRIGAÇÃO EM DUAS  
CULTIVARES DE CAFÉ EM UM LATOSSOLO VERMELHO NO  
CERRADO**

**STEFANY BRAZ SILVA**

**ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. ALESSANDRA MONTEIRO DE PAULA**  
**COORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**Brasília, DF**  
**Fevereiro de 2020**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ATRIBUTOS RELACIONADOS A AGREGAÇÃO DO SOLO SOB  
INFLUÊNCIA DE MANEJOS DE IRRIGAÇÃO EM DUAS  
CULTIVARES DE CAFÉ EM UM LATOSSOLO VERMELHO NO  
CERRADO**

**STEFANY BRAZ SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.**

APROVADA POR:

---

**ORIENTADORA**

Dr<sup>a</sup>. Alessandra Monteiro de Paula – Universidade de Brasília. e-mail:  
[ampaula21@gmail.com](mailto:ampaula21@gmail.com). CPF: 820.032.201-78

---

**COORIENTADORA**

Dr<sup>a</sup>. Maria Lucrécia Gerosa Ramos – Universidade de Brasília. e-mail:  
[lucrecia@unb.com](mailto:lucrecia@unb.com). CPF: 002.094.438-12

---

**MEMBRO INTERNO**

Dr<sup>o</sup>. Jader Galba Busato - Universidade de Brasília. e-mail:  
[jaderbusato@unb.br](mailto:jaderbusato@unb.br) CPF: 024.612.477-65

---

**MEMBRO EXTERNO**

Dr<sup>o</sup>. Walter Quadros Ribeiro Júnior – Embrapa Cerrados. e-mail:  
[walter.quadros@embrapa.br](mailto:walter.quadros@embrapa.br). CPF: 906.075.388-72

**Brasília, DF**  
**Fevereiro de 2020**

Silva, Stefany Braz.

Atributos relacionados a agregação do solo sob influência de manejos de irrigação em duas cultivares de café em um Latossolo Vermelho no Cerrado. / Stefany Braz Silva; orientação de Alessandra Monteiro de Paula – Brasília, 2020.

72 p. : il.

Dissertação de mestrado (M) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2020.

1. *Coffea arabica* L. 2. déficit hídrico. 3. fungos micorrízicos arbusculares. 4. estabilidade de agregados. 5. glomalina facilmente extraível. 6. carbono orgânico total.

I. Paula, A. M. II Ph.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, S. B. Atributos relacionados a agregação do solo sob influência de manejos de irrigação em duas cultivares de café em um Latossolo Vermelho no Cerrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020, 72 p. (Dissertação de Mestrado).

## CESSÃO DE DIREITOS

**Nome do autor:** STEFANY BRAZ SILVA

**Título da dissertação de Mestrado:** Atributos relacionados a agregação do solo sob influência de manejos de irrigação na cultura de café em um Latossolo Vermelho no Cerrado.

**Grau:** mestre **Ano:** 2020

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

---

STEFANY BRAZ SILVA

(61) 982003072 / email: stefany.agrounb@gmail.com

**OFEREÇO,**

*À Deus.*

**DEDICO,**

*À minha família.*

*Especialmente, aos meus pais:*

*Ivonete Duarte e Jorge Carlos*

*E a ela, pelo apoio, por tudo e pelo amor:*

*Aniele Braz Martins (in memorian)*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus.

À toda minha família pelo apoio, carinho e amor.

Ao meu esposo e doutorando Daniel Fernando Salas Méndez pelo apoio, parceria, pela valiosa ajuda em todas as fases desse trabalho e pelo amor.

À Professora e orientadora Alessandra Monteiro de Paula e à Professora e coorientadora Maria Lucrecia Gerosa Ramos. À elas, agradeço imensamente por toda a dedicação, ensinamentos e pela oportunidade de realização desse trabalho.

À Embrapa Cerrados, em especial ao Drº Walter Quadros Ribeiro Júnior pela disponibilização do experimento. À toda a equipe de campo pela ajuda nas amostragens e à Nathalia Henriques.

Aos alunos voluntários que em algum momento ajudaram nas análises e coleta: Felipe, Humberto, Rodrigo e Tainá.

À Universidade de Brasília e aos professores da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, coordenadores e funcionários.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

## RESUMO

O uso de sistemas de irrigação no cultivo de café no Cerrado é indispensável para garantir bons rendimentos e qualidade na produção. No entanto, a irrigação do cafeeiro pode alterar os atributos relacionados à formação e estabilização dos agregados do solo, entre eles, os Fungos micorrízicos arbusculares. O objetivo do trabalho foi avaliar as alterações de atributos físicos e bioquímicos no perfil de um Latossolo Vermelho cultivado com duas variedades de café, sob três manejos de irrigação no Cerrado. O experimento foi implantado na Embrapa Cerrados em, 2015, e o manejo da irrigação foi realizado por um sistema linear tracionado por um carretel desde 2017. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com três repetições, onde as parcelas são compostas pelas duas cultivares de café: IPR 100 e Catuaí 99, e as subparcelas compostas pelos três regimes hídricos: irrigação plena, déficit hídrico de abril a setembro e sequeiro. A coleta do solo e das raízes foi realizada em duas épocas, uma no período chuvoso, em fevereiro de 2019, e outra no período de seca, em setembro deste mesmo ano, nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. Foram avaliados taxa de colonização micorrízica, número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, estabilidade dos agregados em água (ASI), diâmetro médio geométrico (GMD), diâmetro médio ponderado (WMD), carbono orgânico total (TOC), bem como nos macro e microagregados e proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível (EEG), bem como nos macro e microagregados. O manejo de irrigação plena, promoveu maior acúmulo de TOC. A estabilidade dos agregados do solo foi favorecida pelos manejos de sequeiro e déficit hídrico, no período de seca. Há uma relação entre da EEG com a estabilidade dos agregados nas camadas mais profundas independente do manejo de irrigação e dos períodos avaliados. A colonização micorrízica foi influenciada positivamente pela irrigação plena nas camadas subsuperficiais durante o período de seca. O número de esporos não foi influenciado pelos manejos de irrigação e nem pelas cultivares em nenhum período avaliado.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., déficit hídrico, fungos micorrízicos arbusculares, estabilidade de agregados, glomalina facilmente extraível.

## ABSTRACT

The use of irrigation systems in coffee cultivation in the Cerrado is essential to ensure good yields and quality in production. However, coffee irrigation can alter the attributes related to the formation and stabilization of soil aggregates, including arbuscular mycorrhizal fungi. The objective of the work was to evaluate the alterations of physical and biochemical attributes in the profile of an Oxisol cultivated with two varieties of coffee, under three irrigation management in the Cerrado. The experiment was implemented at Embrapa Cerrados in 2015, and irrigation management has been carried out by a linear system pulled by a spool since 2017. The experimental design was in randomized blocks in a split plot scheme with three replications, where the plots are composed by the two coffee cultivars: IPR 100 and Catuaí 99, and the subplots composed of the three water regimes: full irrigation, water deficit from April to September and rainfed. Soil and roots were collected in two seasons, one in the rainy season, in February 2019, and the other in the dry season, in September of the same year, at depths of 0-20, 20-40, 40-60 and 60-80 cm. Mycorrhizal colonization rate, number of spores of arbuscular mycorrhizal fungi, stability of aggregates in water (ASI), geometric mean diameter (GMD), weighted mean diameter (WMD), total organic carbon (TOC), as well as macro and microaggregates and soil protein related to easily extractable glomalin (EEG), as well as in macro and microaggregates. Full irrigation management promoted greater accumulation of TOC. The stability of soil aggregates was favored by rainfed management and water deficit in the dry season. There is a relationship between EEG and the stability of aggregates in the deepest layers, regardless of irrigation management and the periods evaluated. Mycorrhizal colonization was positively influenced by full irrigation in the subsurface layers during the dry season. The number of spores was not influenced by the irrigation management nor by the cultivars in any evaluated period.

Keywords: *Coffea arabica* L., water deficit, arbuscular mycorrhizal fungi, aggregate stability, easily extractable glomaline.



## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE ABREVIACÕES.....</b>	<b>13</b>
<b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2- OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>16</b>
2.1- Objetivos específicos .....	16
<b>3- REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
3.1- A cultura de café no Brasil.....	17
3.2- Irrigação no cultivo de café.....	20
3.3- Fungos Micorrízicos Arbusculares (AMF).....	22
3.4- AMF em cafeeiro.....	24
3.5- Formação e estabilização dos agregados do solo promovida pelos AMF.....	26
<b>4- MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
4.1 Área experimental.....	29
4.2 Variáveis analisadas.....	32
4.2.1 Estabilidade de agregados do solo em água .....	32
4.2.2 Carbono orgânico total .....	33
4.2.3 Colonização micorrízica .....	33
4.2.4 Número de esporos .....	34
4.2.5 Proteína do solo relacionada à Glomalina facilmente extraível – EEG.....	35
4.3 Análise estatística .....	35
<b>5- RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
5.1 Carbono orgânico total no solo e nos macro e microagregados.....	37
5.2 Estabilidade dos agregados, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado .....	42
5.3 Proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível no solo e nos macro e microagregados.....	48
5.4 Colonização micorrízica e número de esporos de AMF.....	53
5.5 Análise de componentes principais .....	55
<b>6- CONCLUSÕES .....</b>	<b>60</b>
<b>7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Carbono orgânico total (TOC), carbono orgânico total nos macroagregados (TOC-MAC) e carbono orgânico total nos microagregados (TOC-MIC) em $\text{g kg}^{-1}$ em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de chuvas.....	38
Tabela 2. Carbono orgânico total (TOC), carbono orgânico total nos macroagregados (TOC-MAC) e carbono orgânico total nos microagregados (TOC-MIC) em $\text{g kg}^{-1}$ em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de seca. ....	41
Tabela 3. Diâmetro médio geométrico (GMD), diâmetro médio ponderado (WMD) em mm e índice de estabilidade dos agregados (ASI) em % em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de chuvas. ....	43
Tabela 4. Diâmetro médio geométrico (GMD), diâmetro médio ponderado (WMD) em mm e índice de estabilidade dos agregados (ASI) em % em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de seca. ....	45
Tabela 5. Proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível (EEG), EEG nos macroagregados (EEG-MAC), EEG nos microagregados (EEG-MIC) em $\text{mg Kg}^{-1}$ , taxa de colonização micorrízica (MC) em %, e número de esporos de AMF (S-AMF) recuperados em 50 mL de solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de seca.....	50
Tabela 6. Proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível (EEG), EEG nos macroagregados (EEG-MAC), EEG nos microagregados (EEG-MIC) em $\text{mg Kg}^{-1}$ , taxa de colonização micorrízica (MC) em %, e número de esporos de AMF (S-AMF) recuperados em 50 mL de solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de chuvas. ....	52

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Acúmulo de água mensal durante os anos de estudo (2017; 2018 e 2019) nos três manejos de irrigação (Irrigação plena (I); déficit hídrico (SW) e sequeiro (NI)) num Latossolo Vermelho sob duas variedades de café no Cerrado. .... 31

**Figura 2.** Análises de componentes principais de atributos do solo (TOC - carbono orgânico total; C-MAC – carbono orgânico total nos macroagregados; C-MIC – carbono orgânico total nos microagregados; EEG – proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível; EEG-MAC - proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos macroagregados; EEG-MIC - proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos microagregados; ASI – índice de estabilidade de agregados; MC – colonização micorrízica; S-AMF – número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em quatro profundidades (A: 0-20 cm; B: 20-40 cm; C: 40-60 cm; D: 60-80 cm), cultivado com café submetido a diferentes regimes de irrigação (I – irrigação plena; WS – déficit hídrico; NI – sequeiro), no período chuvoso, em Planaltina-DF. .... 57

**Figura 3.** Análises de componentes principais de atributos do solo (TOC - carbono orgânico total; C-MAC – carbono orgânico total nos macroagregados; C-MIC – carbono orgânico total nos microagregados; EEG – proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível; EEG-MAC - proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos macroagregados; EEG-MIC - proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos microagregados; ASI – índice de estabilidade de agregados; MC – colonização micorrízica; S-AMF – número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em quatro profundidades (A: 0-20 cm; B: 20-40 cm; C: 40-60 cm; D: 60-80 cm), cultivado com café submetido a diferentes regimes de irrigação (I – irrigação plena; WS – déficit hídrico; NI – sequeiro), no período de seca, em Planaltina-DF. .... 59

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1.</b> Diâmetro médio ponderado (WMD): .....	32
<b>Equação 2.</b> Diâmetro médio geométrico (GMD): .....	33
<b>Equação 3.</b> Índice de estabilidade de agregados em água (ASI): .....	33
<b>Equação 4.</b> Taxa de colonização micorrízica .....	34

## LISTA DE ABREVIACÕES

ACP	Análise de componentes principais
AMF	Fungos micorrízicos arbusculares
ASI	Índice de estabilidade dos agregados
EEG	Proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível
EEG-MAC	Proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos macroagregados
EEG-MIC	Proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos microagregados
GMD	Diâmetro médio geométrico
GRSP	Proteína do solo relacionada à glomalina
I	Irrigação plena
MC	Colonização micorrízica
NI	Sequeiro
P	Fósforo
S-AMF	Esporos de fungos micorrízicos arbusculares
TOC	Carbono orgânico total
TOC-MAC	Carbono orgânico total nos macroagregados
TOC-MIC	Carbono orgânico total nos microagregados
WMD	Diâmetro médio ponderado
WS	Déficit hídrico

## 1- INTRODUÇÃO

O café é o segundo produto mais comercializado do mundo, ficando atrás somente do petróleo (ANDRADE et al., 2009; DAVIS et al., 2012). No Brasil, essa *commodity* é de grande importância econômica e social, uma vez que o país é o maior produtor, exportador e segundo maior consumidor de café do mundo (ICO, 2019). No ranking das exportações brasileiras, o café ocupa a 5ª posição, com rendimento de R\$ 24,92 bilhões, representando 6,5 % do faturamento bruto total das lavouras brasileiras em 2018 (EMBRAPA, 2019), destacando-se como um dos principais produtos agrícolas de exportação, contribuindo assim para a geração de empregos e de receita na balança comercial.

O cafeeiro arábica (*Coffea arábica*. L) tem grande potencial produtivo, apesar de alguns cultivos apresentem baixas produtividades principalmente devido aos fatores edáficos (CHAVES, 2002; MARTINS NETO & MATSUMOTO, 2010; MATIELO et al., 2010; LIU et al., 2016), embora a distribuição pluviométrica interfere não apenas na produtividade, mas também na qualidade da bebida (MARTINS et al., 2015; VINECKY et al., 2017). Portanto, a seca é considerada um dos principais fatores que afetam a produção de café em vários países produtores, incluindo o Brasil (BUNN et al., 2015; VINECKY et al., 2017).

Nas últimas décadas, a produção de café no Brasil estendeu-se à região do Cerrado, que por sua vez, é bastante promissora para a produção cafeeira em larga escala. Porém, a irregularidade das chuvas e a indisponibilidade hídrica, ocasionada pelo longo período de estiagem caracterizado por este bioma, restringem a produção altamente suficiente de café arábica (RATTER et al., 1997; DOMINGHETTI et al., 2014). Sendo assim, maneiras de potencializar a produtividade dessa cultura, como a implantação de sistemas de

irrigação, são necessárias para que o déficit hídrico não provoque reduções no rendimento do café (LIU et al., 2016).

As plantas de café apresentam alto grau de dependência dos fungos micorrízicos arbusculares (AMF) (SIQUEIRA & COLOZZI-FILHO, 1986), principalmente em solos com baixo teor de P disponível (SIQUEIRA et al., 1993; KAHILUOTO et al., 2012). Esses fungos podem ser uma alternativa para manter culturas comerciais eficientes (ANDREWS et al., 2012) e podem minimizar os efeitos dos déficits hídricos nas lavouras de café (ANAYA et al., 2011). O principal benefício desses fungos para as plantas é o aumento na absorção de nutrientes, principalmente fósforo (ANDRADE et al., 2009), embora essa associação tenha um efeito benéfico em plantas sob condições de seca (AUGE, 2004; SEWNET & TUJU, 2013). Além disso, esses fungos desempenham um papel fundamental na formação e manutenção dos agregados do solo (RILLIG, 2004).

Essas funções demonstram a importância dos AMF à agricultura sustentável, contudo, variações nas condições edafoclimáticas e fatores relacionados ao manejo agrícola podem influenciar na diversidade e colonização desses fungos (SAGGIN-JUNIOR & SIQUEIRA 1996; STÜRMER & SIQUEIRA 2011). Portanto, é de suma importância entender se o manejo agrícola baseado na irrigação em solos tropicais influencia o comportamento da comunidade dos AMF, principalmente quando relacionadas com culturas de grande relevância, como o café.

## **2- OBJETIVO GERAL**

Avaliar as alterações de atributos físicos e bioquímicos no perfil de um Latossolo Vermelho cultivado com duas variedades de café, sob três manejos de irrigação, no período de chuvas e no período de seca, no Cerrado.

### **2.1- Objetivos específicos**

- Avaliar os teores carbono orgânico total, assim como nos macro e microagregados do solo cultivado com duas variedades de café sob três manejos de irrigação em quatro profundidades, até 80 cm, nos períodos de chuva e seca;
- Avaliar a estabilidade dos agregados em água no solo cultivado com duas variedades de café sob três manejos de irrigação em quatro profundidades, até 80 cm, nos períodos de chuva e seca;
- Avaliar os teores de proteína do solo relacionados à glomalina facilmente extraível no solo, bem como nos macro e microagregados, cultivado com duas variedades de café sob três manejos de irrigação em quatro profundidades, até 80 cm, nos períodos de chuva e seca;
- Avaliar a colonização micorrízica e número de esporos no solo cultivado com duas variedades de café sob três manejos de irrigação em quatro profundidades, até 80 cm, nos períodos de chuva e seca.



### **3- REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1- A cultura de café no Brasil**

O café pertencente à família Rubiácea e ao gênero *Coffea*; é uma espécie lenhosa e perene e duas espécies se destacam comercialmente, *Coffea arabica*, conhecida como café arábica, e o *Coffea canephora*, conhecida como conilon ou robusta (EMBRAPA, 2006). O *Coffea arabica* é originário da África, na região da Etiópia, embora os primeiros relatos do consumo desse produto tenham ocorrido na Arábia, ponto de difusão do cafeeiro e de onde a produção e comercialização se espalharam por todo o Oriente (MOTA SOBRINHO, 1967). O café foi introduzido no Brasil em 1722, na cidade de Belém-PA, e em seguida no Maranhão. A partir daí, expandiu-se para o Rio de Janeiro e, posteriormente para o Vale do Paranaíba, em 1780 (MOTA SOBRINHO, 1967; ORMOND et al., 1999). Além da importância social, o café tem uma valiosa importância histórica e econômica no país, pois com a independência do Brasil surgiu a era do café, e em 1845 o país já colhia 45 % da produção mundial. Já no início do século XIX, o café já era o maior produto de exportação brasileiro (ORMOND et al., 1999).

Desde então, o Brasil se destaca como maior produtor e exportador de café do mundo, a estimativa da safra mundial de 2018/19 é de 167,47 milhões de sacas, sendo o país responsável por um terço dessa produção (ICO, 2019). A safra brasileira 2019 deve alcançar entre 50 e 54 milhões de café beneficiado, estimando assim uma produção menor que a obtida em 2018 devido à bienalidade negativa neste ano (CONAB, 2019). Na safra de 2018 estimou-se uma produção de 61,7 milhões de sacas beneficiadas de café, com um aumento de 37,1 % em relação à de 2017, em razão da bienalidade positiva na maioria das regiões produtoras (CONAB, 2018). Em 2018, o faturamento bruto do *Coffea arabica* teve receita estimada em R\$ 19,96 bilhões, equivalente a 80 % do que arrecada a atividade

cafeeira. Já o *Coffea canephora* contribuiu com 4,96 bilhões, representando 20 % do total (EMBRAPA, 2019). Além das exportações de outros serviços e *commodities*, como soja, milho e minério de ferro, o café é responsável por 3 % de todas as exportações brasileiras. Portanto, os produtores brasileiros estão investindo cada vez mais em programas de qualificação para ampliar os lucros com o produto (BSCA, 2019).

No sistema de produção convencional, as mudas do cafeeiro são cultivadas em viveiros, a germinação ocorre com aproximadamente dois meses do plantio da semente e permanecem sob sistema controlado por oito a nove meses. Após o transplante das mudas para o campo de produção, o estágio vegetativo segue de 12 a 15 meses (ALVEIRO et al., 2017) e após esse período atinge a maturidade e começa o início da produção. O cultivo do café arábica no Brasil se desenvolve melhor em altitudes acima de 700 m, pois a espécie requer um clima mais ameno, com temperaturas médias entre 18 e 22°C e regime de chuvas bem distribuídos ao longo do ano, abrangendo as regiões de cerrado e florestas de altitude, como a região Sul de Minas Gerais e a Zona da Mata (FERRÃO, 2004).

O cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, apresentando aproximadamente 2.036.448 Km<sup>2</sup> de área e abrange grande parte dos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Maranhão, Bahia e Distrito Federal (IBGE, 2019). Desses, Minas Gerais é o maior estado brasileiro produtor de café, apresentando 32,97 milhões de sacas de *Coffea arabica* e 390,3 mil sacas de *Coffea canephora* na safra de 2018 (CONAB, 2018). A maioria dos solos do Cerrado é classificada como Latossolos (GOMES et al., 2004; CORREIA et al., 2004), que embora apresentem baixa fertilidade, são bastante profundos, estruturados, aerados e possuem ótima drenagem, alta estabilidade de agregados e alta permeabilidade (KLUTHCOUSKI et al., 2003), que aliados à altitude e às características do relevo, favorecem o cultivo de cafeeiros (ORTEGA & JESUS, 2015). Porém, o clima desse bioma apresenta períodos bem

definidos de chuva e seca (ALVAREZ et al., 2013), que podem durar meses seguidos de ausência de precipitação. Além disso, ao longo do período das chuvas, normalmente ocorrem períodos de intermitência, fenômeno este regionalmente chamado de veranico, o que pode influenciar os cultivos agrícolas, sobretudo o cafeeiro, com estresse hídrico (ALVAREZ et al., 2013; SANO et al., 2008).

### **3.2- Irrigação no cultivo de café**

Nos trópicos, a seca deve ser considerada como um estresse, porque é agravada pela radiação solar e alta temperatura (DAMATTA et al., 2007), esses fatores ambientais afetam a fisiologia do cafeeiro, podendo reduzir em até 80 % a produtividade dessa cultura (DAMATTA & RAMALHO, 2006; TESFAYE et al., 2013). O manejo correto da irrigação pode manter e aumentar a produtividade das culturas além de melhorar a qualidade dos grãos (PATANÉ et al., 2011; SANTESTEBAN et al., 2011). No cafeeiro, o déficit hídrico pode reduzir a altura, a largura da copa, o diâmetro do tronco e o rendimento do café (PERDONÁ e SORATTO, 2015; SAKAI et al., 2015). Além disso, a falta de água nessa cultura diminui a condutância estomática e a taxa fotossintética (CAI et al., 2007). Portanto, um correto suprimento hídrico pode aumentar a fotossíntese e aumenta a disponibilidade de assimilados para o preenchimento de grãos de café (BARROS et al., 1997). Em algumas cultivares, o estresse hídrico pode afetar o metabolismo de carboidratos, aumentando o total de açúcares solúveis e redutores e, dessa forma, reduzir o teor de amido tanto nas folhas como raízes de plantas não irrigadas (MELO et al., 2014).

O déficit hídrico afeta também o metabolismo do cafeeiro, acelerando o desenvolvimento dos frutos, aumentando a porcentagem de defeitos nos grãos e, assim, reduzindo a qualidade do café (DAMATTA & RAMALHO, 2006). Além disso, a irrigação permite a floração sincronizada, o que resulta em manutenção de grãos mais uniformes (MASSARIRAMBI et al., 2009). Outros fatores ocasionados pelo estresse hídrico estão relacionados com a senescência precoce das folhas e a morte dos brotos de frutificação, afetando diretamente o rendimento do café e, em casos mais severos, podendo levar até a morte do cafeeiro (WALLER et al., 2007). Dessa forma, o uso

eficiente da irrigação promove uma distribuição mais uniforme do sistema radicular do cafeeiro (MINIUSSI et al., 2015), podendo garantir melhores rendimentos e melhor uso de água e nutrientes.

Apesar do estresse hídrico reduzir o desenvolvimento e a produtividade do café, afetando a fisiologia e processos bioquímicos, essa cultura desenvolveu diferentes estratégias para lidar com a escassez de água, através da eficiência de extração de água do solo e pela eficiência de uso da água pela planta (DAMATA & RAMALHO, 2006). Além disso, sabe-se que existem variações entre espécies ou entre genótipos dentro de uma espécie com estratégias morfológicas e bioquímicas para sobrevivência e até mesmo a manutenção do crescimento e processos fisiológicos sob condições de estresse hídrico (JOSHI, 1999).

Outra maneira de minimizar os efeitos de um evento de baixa disponibilidade hídrica é pela associação simbiótica do cafeeiro com os fungos micorrízicos arbusculares, uma vez que esses, dentre diversos benefícios proporcionados para a planta hospedeira, aumenta a tolerância à estresses abióticos, como o estresse hídrico (AUGÉ, 2001).

### **3.3- Fungos Micorrízicos Arbusculares (AMF)**

Fungos micorrízicos arbusculares (AMF) estão onipresentes na maioria dos ambientes terrestres, e conseqüentemente contribuem para a diversificação de plantas e para produtividade do ecossistema (HEIDJEN et al., 1998), estabelecendo relações simbióticas com mais de 80 % das espécies das plantas (BRUNDRETT, 2009; SMITH & READ, 2008). Trata-se de organismos eucarióticos pertencentes ao filo Glomeromycota, (JOHANSSON et al., 2004) que formam uma associação simbiótica endofítica, desenvolvendo-se nas raízes das plantas vasculares (SIQUEIRA et al., 1993; SCHULZ & BOYLE, 2005). Estes fungos colonizam o córtex das raízes, sem provocar alterações morfológicas, por meio de modificações nas hifas, formando arbúsculos, vesículas e esporos (SIQUEIRA et al., 1993). As hifas dos AMF geralmente não possuem septos e podem crescer inter e/ou intracelularmente. O micélio intra-radicular produz estruturas ramificadas dentro das células corticais, que são os arbúsculos. Muitas espécies de AMF também formam grandes células intra-radulares globulares, que são as vesículas, que têm uma função de reserva. Os esporos de AMF são assexuados, multinucleados e produzidos diretamente pelo micélio, tanto dentro como fora da raiz (SMITH & READ, 2008).

A micorriza arbuscular é considerada uma associação mutualística nutricional, onde ambos os organismos se beneficiam dessa associação, na qual a planta fornece energia suficiente para crescimento e reprodução via fotossintatos para o fungo, e o fungo auxilia a planta com uma gama de funções, baseadas principalmente com o aumento da área radicular, auxiliando a planta na obtenção de água e nutrientes, principalmente o fósforo (SAGGIN-JÚNIOR & SIQUEIRA, 1995; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). A absorção de P pelos AMF se destaca por ser um íon de lenta difusão no solo (HINSINGER, 2001), e por apresentar forte fixação com os oxi-hidróxidos de ferro e

alumínio presentes principalmente em solos tropicais, como os do Cerrado, o que reduz a eficiência dos fertilizantes fosfatados (STÜMER & SIQUEIRA, 2013). Outros elementos absorvidos também pelos AMF são o zinco, cobre e nitrogênio (COLOZZI-FILHO et al., 1994; ANDRADE et al., 2009; HODGE et al., 2001). Além disso, as hifas desses fungos protegem diretamente a planta da toxicidade provocada pelo manganês, cobre e zinco (SAGGIN-JÚNIOR & SIQUEIRA, 1995; ANDRADE et al., 2010).

Esta interação aumenta e otimiza a ciclagem de nutrientes no solo, aumenta a tolerância da planta à doenças e pragas (VAAST et al., 1998) e ao déficit hídrico (ANAYA et al., 2011), além de auxiliar na formação e estabilidade de agregados do solo pela ação física do micélio e pela ação da proteína do solo relacionada à glomalina (GRSP) produzida por esses fungos (RILLIG & MUMMEY, 2006; ANDRADE, 2013). Isso possibilita maior retenção de água no solo e fornecimento para a planta. Os AMF são benéficos às plantas mesmo quando cultivadas sob condições de seca (ZHU et al., 2012), pois a tolerância a déficit hídrico em diversas culturas por associação micorrízica ocorre pelo aumento da absorção de água e nutrientes através das hifas externas (RUIZ-LOZANO, 2003), permitindo que elas utilizem a água de forma mais eficiente (KLEIN & KLEIN, 2015).

Portanto, os AMF constituem um grupo funcional da biota do solo que pode contribuir consideravelmente para a produtividade das culturas e para a sustentabilidade dos ecossistemas (MAHDHI et al., 2017), pois exerce grande influência sobre diversos processos agroecológicos e ecossistêmicos.

### 3.4- AMF em cafeeiro

A presença de AMF no cafeeiro foi observada pela primeira vez por Janse (1897), que encontrou esses fungos colonizando as raízes de café da ilha de Java. Desde então, inúmeras pesquisas constataram a ocorrência e importância dessa simbiose para o cafeeiro, principalmente em solos intemperizados e de baixa fertilidade (SIQUEIRA et al., 1998), como é o caso dos solos do Cerrado. O cafeeiro é considerado uma planta altamente dependente dos AMF (SIQUEIRA & COLOZZI-FILHO, 1986), principalmente no processo de formação das mudas (SIQUEIRA et al., 1993; VAAST et al., 1996). Em condições de campo, as plantas adultas de café estão associadas a uma comunidade bem diversificada de AMF, alguns estudos relataram a presença de aproximadamente 70 espécies desses fungos associadas ao cafeeiro (ARIAS et al., 2012; BEENHOUWER et al., 2014; COGO et al., 2017). Os gêneros encontrados com mais frequência são *Acaulospora* e *Glomus* (ANDRADE et al., 2009), embora *Scutellospora*, *Gigaspora*, *Esclerocistos*, *Entrophospora* também foram descritos colonizando plantas de café (COLOZZI-FILHO & CARDOSO, 2000; MULETA et al., 2007).

A promoção do crescimento por esses fungos nos cafeeiros é atribuída principalmente aos efeitos nutricionais da simbiose, tal como acontece com muitas outras culturas de interesse agrônômico (SIQUEIRA et al., 1998; SANCHEZ et al., 2005), relacionados principalmente à absorção de nutrientes por hifas extra-radiculares da região não rizosférica do solo e o transporte desses para a raiz da planta (SCHWEIGER & JAKOBSEN, 2000). Além disso, os AMF podem proteger o café dos patógenos radiculares e mitigar os efeitos de variações extremas de temperatura, pH, salinidade do solo e estresse hídrico (SEWNET & TUJU, 2013).



Os AMF podem intervir de várias maneiras na tolerância das plantas ao estresse hídrico, incluindo alterações hormonais, absorção eficaz da água no solo, maior contato solo-raiz, regulação de ajuste osmótico e absorção de água do solo através do micélio e transporte à planta (AUGÉ, 2001). Um estudo avaliando plantas de café inoculadas com AMF demonstrou que as mudas micorrizadas foram capazes de manter seu crescimento mesmo em solos que sofrem de déficit hídricos (MOREIRA et al., 2018), visto que esses fungos podem alterar o comportamento dos estômatos do cafeeiro e influenciar na hidratação e conseqüentemente no acúmulo de biomassa na planta (AUGÉ et al., 2015). Outro trabalho mensurou a contribuição das hifas para a absorção total de água pelas plantas através de monitoramento on-line do teor de água do solo, e revelou que a participação das hifas para a absorção de água das plantas foi de pelo menos 20 % (RUTH et al., 2011).

Diante disso, a adoção de práticas e sistemas de manejo sustentáveis na produção cafeeira, tais como práticas de baixos insumos e uso eficiente da irrigação suportam uma maior abundância e diversidade da comunidade de AMF quando comparado aos sistemas convencionais (BEENHOUWER et al., 2015; DOBO et al., 2018). Uma revisão de estudos a respeito da interação entre AMF e plantas de cafeeiro mostra que a maioria dos trabalhos enfatizou o uso de AMF como biofertilizantes para o crescimento das culturas e no estabelecimento e avaliação da diversidade taxonômica dessa população associadas ao cultivo de café (COGO et al., 2017). Contudo há uma escassez de estudos relacionados à dinâmica da comunidade de AMF em sistemas que controlam a irrigação em plantios de café, que é uma etapa crucial no controle da população desses fungos que objetivam melhorar a quantidade e a qualidade da produção cafeeira (GIANINAZZI et al., 2010).

### **3.5- Formação e estabilização dos agregados do solo promovida pelos AMF**

A agregação do solo é um processo dinâmico e complexo realizado por vários componentes bióticos e abióticos do solo (ASANO & WAGAI, 2014). Trata-se de um processo chave no ecossistema, pois resulta na formação e estabilização da estrutura do solo, constituindo os agregados e a matriz dos espaços porosos (RILLING et al., 2015). De maneira geral, no processo de agregação, os microagregados são ligados em macroagregados principalmente por raízes finas, hifas fúngicas, polissacarídeos microbianos e derivados de plantas, além de células bacterianas (TISDALL & OADES, 1982).

A formação e a estabilização da agregação do solo ocorrem simultaneamente e de forma dinâmica nos ecossistemas (SIX et al., 2004). Porém, esses dois processos podem ser desempenhados por organismos diferentes e expressam características diferentes. A formação dos agregados do solo pode ser definida como a ligação inicial das partículas, enquanto a estabilização dos agregados é o processo que torna o agregado cada vez mais resistente à aplicação de forças desintegrantes, como a penetração de água nos poros, por exemplo (RILLING et al., 2015). Assim, a perda da estabilidade dos agregados do solo pode impactar negativamente os processos biogeoquímicos e ecossistêmicos, como a ciclagem e nutrientes, porosidade e consequentemente a infiltração do solo, as trocas gasosas e proteção contra a erosão (SIX et al., 2004; RILLIG & MUMMEY, 2006; DAYNES et al., 2013), além de impactar seriamente a capacidade do solo de estabilizar a matéria orgânica (BRONICK & LAL, 2005). Não obstante, a agregação do solo é importante para o crescimento das raízes e para uma ampla variedade de características do solo e processos do ecossistema (SIX et al., 2006).

As raízes das plantas e os AMF desempenham um papel crucial na condução da agregação do solo (LEIFHEIT et al., 2014). Sabe-se que os AMF agem como uma ligação

biótica no processo de agregação e estabilização dos agregados (OADES, 1984), por mecanismos biofísicos e bioquímicos. Além disso, a interação entre os AMF e a comunidade microbiana que habita a rizosfera também pode gerar efeitos significativos na formação e estabilização dos agregados (RILLIG et al., 2010). Entretanto, em solos com baixa fertilidade, os AMF geralmente apresentam uma influência maior nesse processo, pois o maior crescimento das plantas micorrizadas poderia levar a um maior efeito na agregação do solo (LEIFHEIT et al., 2014). Dessa forma, a influência dos AMF na formação e estabilização dos agregados do solo se baseia nas redes de hifas fúngicas extra radiculares e/ou na atuação como um agente ligante de longo prazo pela produção da proteína do solo relacionada a glomalina (GRSP) (RILLIG & MUMMEY, 2006; ANDRADE, 2013).

A GRSP é uma glicoproteína produzida, parcialmente, pelas hifas dos AMF e é denominada assim pelo fato de que a ligação entre as frações de glomalina e proteína do solo não está claramente estabelecida (RILLIG & MUMMEY, 2006), embora tenha sido descrita como tendo um papel importante na agregação e suas concentrações nos solos são até quatro vezes maiores que as concentrações de ácido húmico (LOZANO et al., 2016).

Um estudo recente mostrou que o comprimento das hifas, a densidade de esporos e a GRSP contribuem para a formação e a estabilidade de macroagregados do solo estáveis em água, mesmo sob condições de estresse hídrico, enfatizando a importância dos AMF na agregação e estabilização dos agregados do solo (JI et al., 2019). No entanto, a maioria dos estudos realizados com a GRSP foram focados nos efeitos compostos das hifas de AMF e raízes de plantas nos agregados do solo e pouco se sabe sobre o único efeito desses fungos na agregação do solo, especialmente sob estresse hídrico e ambientes irrigados.

Visto isso, pode-se afirmar que a densidade de hifas dos AMF e a produção de GRSP são fatores bióticos dominantes que podem explicar a variação na agregação do solo. Dessa forma, torna-se necessário relacionar de forma convincente a estrutura do solo com características de comunidades fúngicas, pois assim poderá ser possível prever quais sistemas de manejo estão sob maior risco de deterioração e também criar medidas a fim de controlar esse processo.

## 4- MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área experimental

O experimento foi implantado em 2015 no campo experimental da EMBRAPA Cerrados, Planaltina-DF, cujas coordenadas são 15°39'84'' S e 47°44'41'' W. A altitude da área é de aproximadamente 1014 m, com temperatura e pluviosidade médias anuais de 21,3 °C e 1.460 mm, respectivamente.

A região encontra-se no bioma Cerrado e o clima é classificado como tropical estacional (Aw), segundo a classificação de Koppen (CARDOSO et al., 2014), com duas estações bem definidas: seca e chuvosa. No inverno ocorre déficit hídrico com baixas temperaturas e o verão é quente e úmido, podendo ocorrer períodos de estiagem (veranicos) durante a estação chuvosa. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

Antes do plantio de café, o solo era cultivado com a cultura de soja (*Glycine max*), e após a colheita, em março de 2015, a palhada foi incorporada com uma grade aradora e realizou-se a correção do solo com a aplicação 4 ton/ha de gesso e 4 ton/ha de calcário. O plantio foi realizado de forma manual e em 2015 e 2016, antes de estabelecer os regimes de irrigação, as plantas de cafeeiro foram fertilizadas com 150 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 225 kg/ha de K<sub>2</sub>O e 100 kg/ha de N, o que corresponde a 50 % da adubação prevista para cafeeiros em produção e não houve inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.

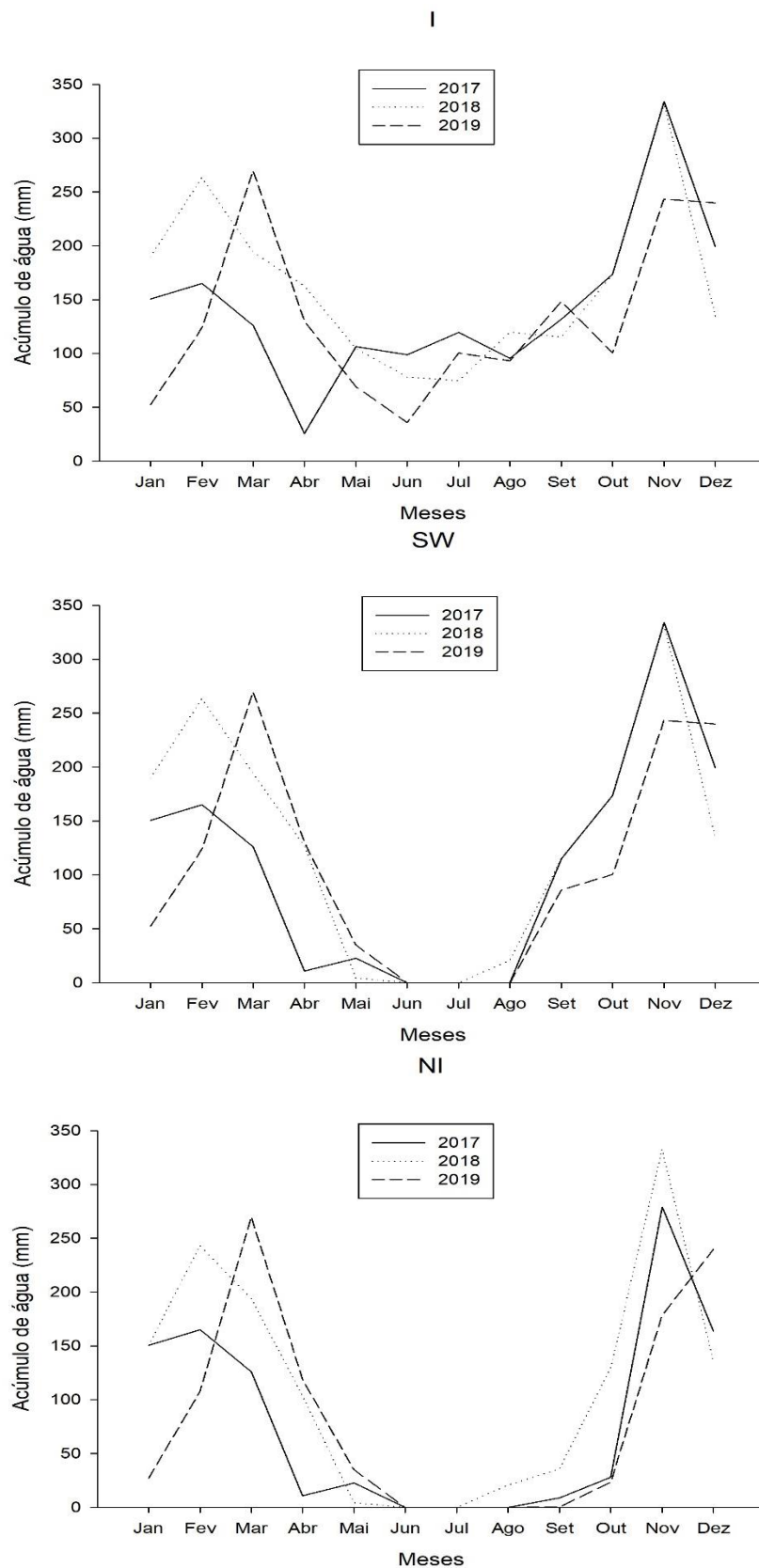
Os tratamentos consistiram em duas cultivares de *Coffea arabica* L., IPR 100 e Catuaí 99 sob três condições de manejo da irrigação: irrigação plena durante todo o ano (I); um déficit hídrico de abril a setembro e irrigado no restante do ano (SW), e o sequeiro (NI), que não é realizada irrigação em nenhum período do ano, utilizado como controle. O acúmulo de água para os tratamentos de regimes hídricos, que refere-se à precipitação

mais a lâmina de irrigação disponibilizada em cada tratamento, desde o início (2017) até a coleta (2019), apresenta-se na Figura 1.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas. A parcela principal foi composta pelas cultivares (IPR 100 e Catuaí 99) e as subparcelas composta pelos regimes hídricos (I, SW e NI), com três repetições.

O manejo da irrigação é realizado por um sistema de irrigação linear tracionado por um carretel, onde a quantidade de água é calculada pelo nível de água aplicada em diferentes velocidades. A lâmina de irrigação real aplicada foi monitorada através de coletores localizados nas entrelinhas do experimento, com diâmetro conhecido e transformado em mm de água por hora. A aplicação de diferentes regimes hídricos em diferentes épocas iniciou em 2017.

A coleta do solo e das raízes foi realizada em duas épocas, uma no período chuvoso, em fevereiro de 2019 e outra no período de seca, em setembro do mesmo ano, no mesmo local, na projeção da copa do cafeeiro. Foram coletadas amostras do solo nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm para as análises de carbono orgânico total, proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível, estabilidade dos agregados do solo em água e densidade de esporos. As raízes foram coletadas para as análises de taxa de colonização micorrízica nessas mesmas profundidades.



**Figura 1.** Acúmulo de água mensal durante os anos de estudo (2017; 2018 e 2019) nos três manejos de irrigação (Irrigação plena (I); déficit hídrico (SW) e sequeiro (NI)) num Latossolo Vermelho sob duas variedades de café no Cerrado.

## 4.2 Variáveis analisadas

### 4.2.1 Estabilidade de agregados do solo em água

Para determinar a estabilidade dos agregados do solo, as amostras foram coletadas cuidadosamente e os torrões quebrados a mão de forma bem cautelosa em agregados menores, até aproximadamente 1 cm. Posteriormente foram passados na peneira de 8mm, e secos ao ar. A distribuição dos agregados estáveis em água foi realizada por peneiramento úmido, de acordo com Yoder (1936). Foram transferidos 100g das amostras para um conjunto de 5 peneiras com diâmetro decrescente de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,106 mm e essas foram submetidas à tamisação vertical via úmida no equipamento de Yoder por 30 minutos. O material retido em cada peneira foi pesado e seco em estufa a 60°C até se obter a massa seca constante.

Os agregados foram agrupados em duas classes, macroagregados (MAC) e microagregados (MIC); os macroagregados foram constituídos pelo material retido entre as peneiras de 2 e 0,25 mm; e os microagregados compostos pelo material retido entre as peneiras de 0,25 e 0,106 mm.

O diâmetro médio ponderado (WMD), o diâmetro médio geométrico (GMD) e o índice de estabilidade de agregados (ASI) foram calculados a partir da massa de agregados retida nas peneiras, conforme a metodologia descrita por Kemper & Rosenau (1986) com as seguintes equações:

**Equação 1.** Diâmetro médio ponderado (WMD):

$$WMD = \sum_{i=1}^n (x_i \times w_i)$$



**Equação 2.** Diâmetro médio geométrico (GMD):

$$GMD = 10^{\left[ \frac{\sum (w_i \times \log x_i)}{\sum w_i} \right]}$$

Em que  $w_i$  = proporção (%) de cada classe de agregado em relação ao total e  $x_i$  = diâmetro das classes (mm).

**Equação 3.** Índice de estabilidade de agregados em água (ASI):

$$ASI = \left( \frac{\text{Peso da amostra seca} - wp25 - \text{areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} \right)$$

Onde  $wp25$  = peso dos agregados da classe <0,25 mm.

#### **4.2.2 Carbono orgânico total**

O carbono orgânico total do solo (TOC) foi determinado de conforme a metodologia descrita por Walkley & Black (1934), através da oxidação com dicromato de potássio e titulação do dicromato remanescente com sulfato ferroso amoniacal. Também foi determinado o TOC nos MAC e MIC obtidos através do material retido nas peneiras na análise da estabilidade dos agregados em água.

#### **4.2.3 Colonização micorrízica**

Para a avaliação da colonização micorrízica, as raízes foram clareadas e as estruturas fúngicas coloridas, de acordo com a metodologia descrita por Phillips & Hayman (1970). O clareamento foi realizado pelo aquecimento das raízes em solução de KOH a 10 % à temperatura de 60° C em banho-maria durante 30 minutos. Após serem

clareadas, foram lavadas com água até eliminar os resíduos da solução para seguir a etapa de coloração. O processo de coloração foi realizado mediante a imersão das raízes em uma solução de azul de tripan a 0,05 % em lacto-glicerol (1:1:1 ácido láctico glacial, glicerol e água) e aquecida à temperatura de 60° C em banho-maria durante 20 minutos. Posteriormente, as amostras foram lavadas com água para retirar o excesso da solução e armazenadas em frascos contendo glicerol a 50 % para a avaliação da taxa de colonização micorrízica.

A taxa de colonização micorrízica das raízes foi avaliada pelo método da placa quadriculada (GIOVANNETTI & MOSSE, 1980), por meio da avaliação de segmentos de raízes contendo estruturas fúngicas, com o auxílio de microscópio estereoscópico (Lupa). Os segmentos das raízes foram espalhados na placa de Petri que possui no fundo linhas quadriculadas de 1 cm fazendo-se a observação da presença e ausência de colonização nas linhas verticais e horizontais, exatamente no ponto de interseção das raízes com as linhas. O cálculo da taxa de colonização foi feito pela relação entre o número de pontos de raízes colonizadas e o total de pontos observados (Equação 4).

**Equação 4.** Taxa de colonização micorrízica

$$\text{Colonização micorrízica} = \frac{\text{Pontos de raízes infectados por AMF}}{\text{Total de pontos observados}}$$

#### **4.2.4 Número de esporos**

A avaliação do número de esporos dos AMF foi realizada pelo método do peneiramento úmido (GERDEMANN & NICOLSON 1963), onde 50 mL de solo suspensos em água foram submetidos a uma quebra física dos agregados do solo em liquidificador e em seguida o solo foi decantado. Posteriormente, as amostras de solo

foram passadas para um conjunto de duas peneiras de 1 e 0,045 mm. O material retido na peneira de menor tamanho foi transferido para tubos falcom com adição de água e centrifugados por 3000 rpm por 3 minutos. O sobrenadante foi descartado e acrescentada uma solução de sacarose (60 %) com posterior centrifugação a 2000 rpm por 2 minutos. Após este procedimento, o sobrenadante obtido foi lavado com água para a retirada do excesso de sacarose, dando origem a suspensões contendo os esporos dos AMF. Tais suspensões foram colocadas em placas caneladas, a fim realizar a contagem dos esporos com o auxílio de um microscópio estereoscópio.

#### **4.2.5 Proteína do solo relacionada à Glomalina facilmente extraível – EEG**

A concentração de EEG foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Wright & Upadhyaya (1996), a partir da extração de 1g de TFSA com 8 mL de citrato de sódio 20mM a pH 7,0 a 121°C por 30 minutos. As amostras foram centrifugadas a 5000 rpm por 10 minutos. A concentração de EEG no sobrenadante foi determinada pelo ensaio de Bradford (1976), utilizando-se *bovini serum albumin* (BSA) como proteína padrão e a densidade óptica foi determinada no espectrofotômetro a 595 nm. A EEG também foi determinada nos macro e microagregados e obtidos através do material retido nas peneiras na análise da estabilidade dos agregados em água.

#### **4.3 Análise estatística**

Para avaliar o efeito dos manejos de irrigação e das cultivares de café nos atributos analisados, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) no programa R e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, considerando o nível de 5 % de probabilidade. Os dados dos esporos recuperados foram transformados em  $\log(x + 0,5)^{0,5}$  e de colonização micorrízica em  $\arcsen(x / 100)^{0,5}$  para estas análises. Para avaliar as possíveis reações

existentes entre os atributos do solo e os manejos de irrigação presentes nas áreas em estudo, utilizou-se a análise de componentes principais (ACP), com o auxílio do programa CANOCO (TER BRAAK & SMILAUER, 1988).

## **5- RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O regime de disponibilidade de água para o cultivo de café no Cerrado promoveu alterações nos atributos do solo, avaliados durante o período chuvoso (fevereiro de 2019) e seco (setembro de 2019), como demonstram as análises de variância e as análises de componentes de principais (Tabela 1 a 6 e Figuras 2 e 3).

### **5.1 Carbono orgânico total no solo e nos macro e microagregados**

No período chuvoso (Tabela 1), o manejo de irrigação plena favoreceu um acúmulo nos teores de TOC na camada de 0-20 cm, com  $19,35 \text{ g kg}^{-1}$ , enquanto o déficit hídrico e o sequeiro apresentaram menores teores com  $17,54$  e  $16,51 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo 9,3 e 14,6 % menores que o tratamento irrigado, respectivamente. Já na camada de 20-40 cm, tanto o manejo de irrigação plena quanto o déficit hídrico promoveram maiores teores de TOC, apresentando  $14,38$  e  $14,07 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, enquanto que no sequeiro observou-se uma diminuição nos teores de TOC, com  $12,45 \text{ g kg}^{-1}$ , ou seja, 13,46 e 11,52 % menor que o manejo de irrigação plena, indicando que nos manejos em que há disponibilidade de água durante todo o ano pode aumentar a produção de biomassa da planta e com isso aumentar a quantidade de resíduos depositados tanto na superfície do solo quanto no sistema radicular, contribuindo para o aumento nos conteúdos de TOC nas camadas superficiais. Além disso, a restrição de água pode limitar a atividade microbiana do solo e, conseqüentemente, reduzir a decomposição dos resíduos orgânicos (ZORNOZA, et al., 2018). Resultados semelhantes também foram obtidos por Rocha et al., (2016) que avaliaram os teores de TOC em cafeeiros irrigados e em sequeiro em um Latossolo no Cerrado; os autores obtiveram valores de  $25,58 \text{ g kg}^{-1}$  de TOC no solo cultivado com café sob sequeiro e  $29,32 \text{ g kg}^{-1}$  sob irrigação, correspondendo a um aumento de 15 % do TOC em função da ação da irrigação.

Tabela 1. Carbono orgânico total (TOC), carbono orgânico total nos macroagregados (TOC-MAC) e carbono orgânico total nos microagregados (TOC-MIC) em g kg<sup>-1</sup> em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de chuvas.

	TOC	TOC-MAC	TOC-MIC
0-20 cm			
I	19,35 a	17,39	14,55
SW	17,54 b	16,57	11,68
NI	16,51 b	16,35	12,46
IPR 100	17,19 b	16,86	13,17
Catuaí 99	18,42 a	16,67	12,63
Média geral	17,8	16,77	12,9
CV %	3,39	8,48	27,01
20-40 cm			
I	14,38 a	13,87	10,86
SW	14,07 a	13,02	9,42
NI	12,45 b	13,31	10,13
IPR 100	13,41	13,33	9,99
Catuaí 99	13,85	13,47	10,29
Média geral	13,63	13,4	10,14
CV %	5,48	9,49	18,22
40-60 cm			
I	9,3 ab	9,87	6,59
SW	10,23 a	9,35	6,83
NI	8,45 b	8,93	7,39
IPR 100	10,04 a	9,32	6,57
Catuaí 99	8,61 b	9,45	7,31
Média geral	9,32	9,38	6,94
CV %	7,26	11,11	18,95
60-80 cm			
I	8,14	8,72	4,12
SW	8,55	7,54	4,76
NI	7,58	7,4	4,97
IPR 100	8,5	7,73	4,3
Catuaí 99	7,67	8,05	4,94
Média geral	8,09	7,89	4,62
CV %	10,76	23,02	21,4

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas para regime hídrico e para as cultivares de café, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05). I – Irrigação plena; SW – Déficit hídrico; NI – Sequeiro.

Outro trabalho avaliando esse atributo em sistemas irrigados e de sequeiro mostrou que o TOC teve um aumento de 40,5 % no tratamento de irrigação em comparação com o sequeiro até 5 cm de profundidade do solo após o segundo ano de cultivo de milho (CHATTERJEE, et al., 2018).

Na camada de 40-60 cm, no período de chuvas, o sistema de déficit hídrico demonstrou maiores teores de TOC, apresentando 10,23 g kg<sup>-1</sup>, em comparação com o sistema de sequeiro, que apresentou o menor teor (8,45 g kg<sup>-1</sup>). Entretanto, este efeito não se manteve na camada mais profunda (60-80 cm), onde é possível observar que os manejos aplicados apresentaram teores de carbono semelhantes, o que pode estar associado à pouca presença de raízes e uma decomposição mais lenta dos resíduos vegetais nessa profundidade, não havendo, portanto, diferença nesses teores entre os tratamentos avaliados. Outro fator que pode explicar a ausência de diferença estatística entre os tratamentos na camada mais profunda está associado ao tempo de implantação dos manejos de irrigação, que contabilizam dois anos até a coleta do solo, indicando um período curto para que ocorressem alterações do carbono em profundidade.

Em relação às cultivares, a Catuaí 99 promoveu um maior acúmulo nos teores de TOC na camada de 0-20 cm, no período chuvoso, com 18,42 g kg<sup>-1</sup>, enquanto o solo sob a cultivar IPR 100 apresentou um teor médio de 17,19 g kg<sup>-1</sup>. Entretanto, na camada de 40-60 cm ocorreu o inverso, pois a cultivar IPR 100 foi responsável pelo maior incremento nesses teores ao solo, apresentando 10,04 g kg<sup>-1</sup>, e a Catuaí 99, por sua vez, apresentou um acúmulo abaixo da média geral para essa profundidade, com 8,61 g kg<sup>-1</sup>. Isso pode ser elucidado pelo fato de que o manejo de diferentes cultivares da mesma cultura pode promover diferentes aportes de matéria orgânica ao solo, inclusive pode também apresentar diferentes taxas de decomposição dos resíduos vegetais (BAYER et al., 2000). Pela característica da cultura perene e com a baixa interferência nas camadas

do solo, o cultivo de café favorece a manutenção dos estoques de carbono no solo (CERRI. et al., 2017), em especial sob manejos irrigados, que estimulam a exploração radicular do solo pela cultura.

Já no período de seca (Tabela 2), pode-se observar que nas duas primeiras camadas os teores de TOC foram maiores no manejo da irrigação plena em comparação com os outros manejos, acumulando  $19,45 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de 0-20 cm e  $15,88 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de 20-40 cm. Já os manejos sob déficit hídrico e sequeiro apresentaram um decréscimo nos teores de TOC nessas duas camadas, com  $16,37 \text{ g kg}^{-1}$  e  $16,49 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, na camada de 0-20 cm; e  $13,15 \text{ g kg}^{-1}$  no déficit hídrico e  $13,07 \text{ g kg}^{-1}$  no sequeiro da camada de 20-40cm. Ainda na camada de 0-20 cm observou-se que as cultivares também influenciaram nesse atributo; a IPR 100 promoveu um maior acúmulo de TOC, com  $18,22 \text{ g kg}^{-1}$ , em comparação com a Catuaí 99, que apresentou  $16,65 \text{ g kg}^{-1}$ . Nas camadas de 40-60 e 60-80 cm os resultados demonstraram que não houve alteração nos teores de TOC nem pelos manejos de irrigação e nem pelas cultivares, seguindo a mesma explicação desse comportamento avaliado na época de chuvas.

Quanto aos teores de TOC nos macro e microagregados, avaliados no período de chuva, estes não sofreram alterações pelos manejos de irrigação e nem pelas cultivares estudadas (Tabela 1), provavelmente devido ao curto tempo de implantação dos diferentes sistemas de irrigação no experimento (dois anos). Entretanto, ainda não está totalmente elucidado qual classe de agregados é responsável pela concentração de carbono no solo e nem quais camadas e fatores são responsáveis por esse processo (FERNANDÉZ et al., 2010). Embora, apesar dos macroagregados serem mais sensíveis ao manejo do solo do que os microagregados, as duas classes, nesse caso, mostraram que podem servir como uma proteção física da matéria orgânica do solo (HONTORIA et al., 2016).



Tabela 2. Carbono orgânico total (TOC), carbono orgânico total nos macroagregados (TOC-MAC) e carbono orgânico total nos microagregados (TOC-MIC) em g kg<sup>-1</sup> em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de seca.

	TOC	TOC-MAC	TOC-MIC
0-20 cm			
I	19,45 a	18,94 a	14,27
SW	16,37 b	17,05 ab	12,95
NI	16,49 b	15,97 b	12,89
IPR 100	18,22 a	17,36	13,41
Catuaí 99	16,65 b	17,28	13,33
Média geral	17,44	17,32	13,37
CV %	5,8	9,31	9,34
20-40 cm			
I	15,88 a	13,71	11,25
SW	13,15 b	14,34	11,06
NI	13,07 b	13,2	10,81
IPR 100	14,01	14,04	11,1
Catuaí 99	14,06	13,45	10,97
Média geral	14,03	13,75	11,04
CV %	8,98	8,52	8,56
40-60 cm			
I	11,26	9,3	7,03
SW	10,49	10,24	8,22
NI	10,03	10,18	8,1
IPR 100	10,63	10,01	7,66
Catuaí 99	10,55	9,8	7,91
Média geral	10,59	9,9	7,78
CV %	13,68	9,35	13,07
60-80 cm			
I	9,44	6,9	7,03
SW	9,11	8,16	6,34
NI	9,1	7,41	5,77
IPR 100	9,37	7,2	6,31
Catuaí 99	9,06	7,78	6,44
Média geral	9,22	7,49	6,38
CV %	13,97	15,45	27,35

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas para regime hídrico e para as cultivares de café, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05). I – Irrigação plena; SW – Déficit hídrico; NI – Sequeiro.

Nos teores de TOC-MAC, no período de seca, observou-se que os manejos de irrigação alteraram o comportamento desse atributo somente na camada superficial de 0-20 cm; o manejo de irrigação plena levou a um maior acúmulo de carbono nessa classe de agregados, com  $18,94 \text{ g kg}^{-1}$ , enquanto o manejo de sequeiro apresentou o menor teor desse atributo nessa profundidade, com  $15,97 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela 2). Com esse resultado pode-se afirmar que o manejo de irrigação plena contribui com o acúmulo de carbono na camada superficial, uma vez que um maior acúmulo de carbono dentro de macroagregados sugere maior estabilização da matéria orgânica do solo (ANDRUSCHKEWITSCH, et al., 2014). Já o TOC-MIC, não foi influenciado por nenhum dos fatores analisados em nenhuma camada do solo, o que corrobora com os resultados encontrados por Danef et al., (2007), que confirmam que a ocorrência de uma diferença entre o conteúdo de carbono acumulado nos macroagregados nem sempre é acompanhada por uma diferença paralela no conteúdo nos microagregados.

## **5.2 Estabilidade dos agregados, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado**

No período chuvoso, o ASI não foi influenciado pelos manejos de irrigação e pelas cultivares (Tabela 3). A mineralogia dos solos tropicais exerce um fator predominante através da interação organomineral, resultando em maior estabilidade dos agregados (MADARI et al., 2005; HANKE & DICK, 2017). Contudo, os valores de ASI encontrados nesse trabalho estão de acordo com os resultados encontrados para solos agrícolas tropicais (>80 %) (THOMAZ, 2017).

Tabela 3. Diâmetro médio geométrico (GMD), diâmetro médio ponderado (WMD) em mm e índice de estabilidade dos agregados (ASI) em % em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de chuvas.

	GMD	WMD	ASI
	0-20 cm		
I	2,35	3,37	93,46
SW	1,74	2,65	90,96
NI	2,17	3,15	93,04
IPR 100	2,05	3,04	92,5
Catuai 99	2,12	3,07	92,47
Média geral	2,09	3,06	92,48
CV %	20,69	14,73	1,54
	20-40 cm		
I	1,81	2,81	92,74
SW	1,58	2,51	91,22
NI	1,73	2,77	91,05
IPR 100	1,68	2,71	91,09
Catuai 99	1,73	2,68	92,26
Média geral	1,71	2,69	91,67
CV %	21,01	14,69	1,82
	40-60 cm		
I	1,39 b	2,28 b	89,79
SW	1,21 b	2,00 b	89,55
NI	1,72 a	2,73 a	91,44
IPR 100	1,47	2,38	90,53
Catuai 99	1,41	2,29	89,99
Média geral	1,44	2,34	90,26
CV %	9,49	9,06	1,86
	60-80 cm		
I	1,51	2,44	91,35
SW	1,38	2,23	87,96
NI	1,51	2,47	92,09
IPR 100	1,36	2,21	89,81
Catuai 99	1,57	2,55	91,12
Média geral	1,47	2,38	90,47
CV %	15,68	14,65	2,42

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas para regime hídrico e para as cultivares de café, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). I – Irrigação plena; SW – Déficit hídrico; NI – Sequeiro.

O GMD e o WMD, no período chuvoso, apenas foram influenciados pelos manejos de irrigação na camada de 40-60 cm, onde o regime de sequeiro favoreceu maiores valores para esses atributos, com 1,72 e 2,73 mm no GMD e WMD (Tabela 3), respectivamente, enquanto os manejos de irrigação plena e déficit hídrico provocaram um decréscimo desses valores, diferente dos resultados encontrados por Rocha et al., (2016), em que o sistema irrigado em cafeeiro favoreceu maiores valores de WMD. Pereira et al., (2009) mostraram maiores valores de GMD no sistema de sequeiro com cultivo de gramíneas, em comparação com sistema irrigado, sendo associado, portanto, aos maiores teores de matéria orgânica nesse caso.

No período de seca, os atributos relacionados à agregação do solo foram alterados pelos manejos de irrigação, porém as cultivares exerceram influência somente no ASI na camada de 0-20 cm, onde o solo sob a cultivar Catuaí 99 indicou ser mais eficiente na estabilidade de agregados, aportando 91,42 % de ASI; já o solo sobre a cultivar IPR 100 apresentou resultados menores para esse índice, com 90,65 % (Tabela 4). Esses resultados podem estar relacionados com o efeito produzido pela agregação física proveniente das raízes, pois a presença de plantas com raízes ativas, resíduos de culturas e a atividade biológica que ocorre associada a esses componentes são essenciais para mediar os processos de formação e estabilização de agregados (CARRIZO et al., 2015; GARLAND, et al., 2017). Deve-se ressaltar, ainda, que os processos de agregação dependem não só da quantidade, mas também da qualidade do material orgânico fornecido ao solo e pode exibir efeitos transitórios na estabilidade de agregados (LAL, 2015).

Tabela 4. Diâmetro médio geométrico (GMD), diâmetro médio ponderado (WMD) em mm e índice de estabilidade dos agregados (ASI) em % em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de seca.

	GMD	WMD	ASI
	0-20 cm		
I	1,64 b	2,55 b	88,99 b
SW	2,53 a	3,48 a	92,12 a
NI	2,40 a	3,35 a	92,00 a
IPR 100	2,15	3,06	90,65 b
Catuai 99	2,24	3,2	91,42 a
Média geral	2,19	3,13	91,04
CV %	15,79	9,43	0,71
	20-40 cm		
I	1,26 c	2,05 b	86,57 b
SW	2,43 a	3,41 a	91,09 a
NI	1,91 b	2,9 a	89,61 a
IPR 100	1,9	2,79	88,97
Catuai 99	1,84	2,78	89,21
Média geral	1,87	2,79	89,09
CV %	15,54	12,51	1,53
	40-60 cm		
I	1,14 b	1,81 b	86,36
SW	1,54 a	2,48 a	86,68
NI	1,47 a	2,38 a	87,18
IPR 100	1,32	2,14	86,58
Catuai 99	1,44	2,31	86,9
Média geral	1,38	2,25	86,74
CV %	12,38	11,29	1,85
	60-80 cm		
I	0,96 b	1,57 b	80,85 c
SW	1,12 ab	1,8 ab	83,09 b
NI	1,39 a	2,24 a	87,5 a
IPR 100	1,13	1,83	84,18
Catuai 99	1,18	1,91	83,45
Média geral	1,16	1,87	83,81
CV %	18,01	16,91	1,41

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas para regime hídrico e para as cultivares de café, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). I – Irrigação plena; SW – Déficit hídrico; NI – Sequeiro.

Quanto aos manejos de irrigação, no período da seca, os valores de GMD, WMD e ASI apresentaram um mesmo padrão de comportamento nas duas camadas mais superficiais, podendo ser observado um efeito positivo dos regimes hídricos sequeiro e déficit hídrico, em relação ao manejo de irrigação plena nos três atributos. Os valores obtidos de GMD no sequeiro foram 2,40 e 1,91 mm nas camadas de 0-20 e 20-40, respectivamente; e no déficit hídrico 2,53 e 2,43 mm nas camadas de 0-20 e 20-40, respectivamente; já os menores valores atribuídos ao manejo de irrigação plena, foram de 1,64 e 1,26 mm , para essas duas camadas.

Quanto ao WMD, os valores encontrados no sequeiro foram 3,35 e 2,9 mm nas camadas de 0-20 e 20-40, respectivamente; e no déficit hídrico 3,48 mm na camada 0-20 cm e 3,41 mm na camada de 20-40 cm; o manejo de irrigação plena, que obteve valores menores, apresentaram 2,55 e 2,05 mm nas duas camadas de solo. O ASI, que também apresentou essa mesma tendência, nessas mesmas camadas de solo, obteve 92 % no sequeiro na camada 0-20 cm e 89,61 % na camada de 20-40 cm; no déficit hídrico apresentou 92,12 e 91,09 % nas duas camadas, respectivamente; já os menores índices encontrados na irrigação plena foram de 88,99 e 86,57 % (Tabela 4).

Na camada de 40-60 cm, o ASI não obteve diferença significativa entre os fatores de regime hídrico e cultivares, mas o GMD e WMD foram influenciados pelos manejos de irrigação, com médias significativamente maiores nos sistemas de sequeiro (1,47 e 2,38 mm para WMD e GMD, respectivamente) e déficit hídrico (1,54 e 2,48 mm para WMD e GMD, respectivamente), comparado com o manejo de irrigação plena (1,14 e 1,81 mm para WMD e GMD).

Na última camada avaliada, os manejos de irrigação promoveram alterações no GMD, WMD e ASI. O manejo de sequeiro favoreceu o WMD e GMD (1,39 e 2,24 mm, respectivamente) em comparação com o sistema de irrigação plena (0,96 e 1,57 mm, respectivamente), que mostrou efeitos adversos à agregação do solo.

O ASI no sequeiro (87,5 %) foi maior ao déficit hídrico (83,09), que foi maior ao da irrigação plena (80,85 %), este por sua vez apresentou o menor ASI na camada de 60-80 cm. Provavelmente, os baixos valores tanto de WMD e GMD, quanto de ASI encontrados nos manejos irrigados sejam devido à ação física da queda da água ao solo, pois a ação da chuva e do escoamento superficial podem quebrar os agregados em partículas menores, além de formar uma crosta superficial (BISSIONAS, 1996).

Entretanto, esses resultados são divergentes daqueles relatados em alguns trabalhos, onde o manejo da irrigação aumentou significativamente os agregados estáveis em água, elevando o GMD e WMD tanto nas camadas superficiais quanto nas subsuperficiais (NARESH et al., 2016; ROCHA et al., 2016).

Além disso, esses resultados podem ser esclarecidos pelo fato de que em um ambiente que concentre mais carbono nas classes de macroagregados, pode ocorrer a ruptura desses macroagregados, que são sensíveis ao manejo (LOSS et al., 2015), e com isso expor a matéria orgânica, e consequentemente se decompor fazendo com que o macroagregado perda a estabilidade (OADES, 1984). Entretanto, uma melhoria inesperada do solo sob baixa disponibilidade hídrica (especialmente na época de seca), bem como a escassez de resíduos aportados ao solo, pode ter estimulado os processos de agregação do solo.

A existência de trabalhos que apresentam resultados contraditórios (NARESH et al., 2016; ROCHA et al., 2016) em relação ao presente estudo, indicam a necessidade de

mais estudos sobre esse tema, de forma a aprofundar a compreensão do comportamento dessas variáveis em função do manejo de irrigação, para então ser possível validar ou refutar um comportamento predominante dos atributos do solo relacionados com a agregação, em função do manejo de irrigação em áreas sob cultivo de café.

### **5.3 Proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível no solo e nos macro e microagregados**

Os teores de EEG não foram alterados pelos fatores avaliados no período de chuvas (Tabela 6), uma vez que essa proteína é bastante resistente à destruição e pouco solúvel em água (VLCEK & POHANKA, 2019). Logo, esses teores podem ou não variar devido à sazonalidade da precipitação (BUYER et al., 2011), podendo, portanto, permanecer constante ao longo do tempo (SOUZA et al., 2016).

Entretanto, no período de seca, pode-se observar que na camada de 20-40 cm, no manejo de irrigação plena, o teor de EEG foi significativamente maior ( $7,13 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) ao observado no manejo de déficit hídrico ( $5,52 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) (Tabela 5). Esse comportamento provavelmente está relacionado com os maiores teores de TOC (Tabela 2) encontrado nesse tratamento, uma vez que a glomalina é composta por cerca de 28-45 % de carbono (HUANH et al., 2011), representando até 35 % da fração orgânica do solo (NICHOLS & WRIGHT, 2005), corroborando, portanto, com os relatos de outros trabalhos (ZHANG et al., 2017; LOMBARDO et al., 2019; SILVA, et al., 2019).

A concentração de glomalina é dependente da cobertura vegetal e do manejo do solo (MIRÁS-AVALOS et al., 2011), podendo ser afetada por vários fatores, incluindo clima, propriedades do solo, abundância e espécies de AMF (TRESEDER & TURNER, 2007). Contudo, um estudo realizado em condições de acúmulo de água pela precipitação, demonstrou que esses ambientes contribuem para a preservação e acúmulo de glomalina



(LÓPEZ-MERINO et al., 2015). Já outro estudo evidenciou que como a glomalina pode ser translocada na água, a irrigação regular pode contribuir para a deposição dessa proteína em camadas mais profundas do solo (SINGH et al., 2017), corroborando com os resultados encontrados no presente estudo.

Tabela 5. Proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível (EEG), EEG nos macroagregados (EEG-MAC), EEG nos microagregados (EEG-MIC) em mg Kg<sup>-1</sup>, taxa de colonização micorrízica (MC) em %, e número de esporos de AMF (S-AMF) recuperados em 50 mL de solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de seca.

	EEG	EEG-MAC	EEG-MIC	MC	S-AMF
0-20 cm					
I	8,92	8,39	5,41 a	62,89	65
SW	7,32	7,33	3,68 b	37,55	90
NI	8,12	7,36	4,07 b	43	70
IPR 100	8,38	7,79	4,58	53,18	77
Catuaí 99	7,86	7,59	4,2	42,51	76
Média geral	8,12	7,69	4,39	47,85	77,11
CV %	15,9	8,63	14,46	20,91	12,96
20-40 cm					
I	7,13 a	4,79	2,23	40,44	56
SW	5,52 b	4,94	1,99	36,77	65
NI	6,62 ab	5,09	2,02	31,77	56
IPR 100	6,64	5,33	2,38	41,33	65
Catuaí 99	6,21	4,55	1,78	31,33	53
Média geral	6,42	4,94	2,08	36,33	59,44
CV %	11,15	17,88	47,91	24,89	17,19
40-60 cm					
I	4,65	2,9	0,32	27,94 a	25
SW	5,32	3,3	0,49	6,89 b	30
NI	5,53	2,96	0,5	11,89 b	31
IPR 100	5,38	3,25 a	0,57	17,74	27
Catuaí 99	4,96	2,86 b	0,3	13,4	30
Média geral	5,17	3,06	0,43	15,57	29,11
CV %	27,98	10,35	68,56	29,76	16,13
60-80 cm					
I	3,45	2,34	0,24	25 a	18
SW	4,45	2,4	0,03	5,05 b	15
NI	4,97	1,89	0	13,11 ab	10
IPR 100	4,43	2,15	0,18	17,51	15
Catuaí 99	4,15	2,27	0	11,26	14
Média geral	4,29	2,21	0,09	14,38	14,77
CV %	31,27	18,27	206,68	46,63	26,25

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas para regime hídrico e para as cultivares de café, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05). I – Irrigação plena; SW – Déficit hídrico; NI – Sequeiro.

Quanto aos teores de EEG-MAC, os manejos de irrigação não influenciaram nesse atributo em nenhuma época avaliada. Porém, observou-se que, no período de seca, o solo sob a cultivar IPR 100 apresentou maior teor de EEG-MAC ( $3,25 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em relação a cultivar Catuaí 99 ( $2,86 \text{ mg kg}^{-1}$ ), na camada de 40-60 cm, podendo estar relacionado a alguns metabólitos secundários específicos dessa cultivar, que não foram avaliados nesse trabalho, pois essas substâncias comumente interferem na disponibilidade e concentração de glomalina (VLCEK & POHANKA, 2019) e podem fazer parte de vários processos bioquímicos no solo (FIERER et al., 2001).

Quanto aos teores de EEG-MIC, no período de chuvoso, foram observados maiores teores desse atributo no manejo de irrigação plena ( $3,65 \text{ mg kg}^{-1}$ ), em relação aos manejos de déficit hídrico ( $2,91 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e sequeiro ( $3,01 \text{ mg kg}^{-1}$ ) na camada de 20-40 cm (Tabela 6). E na época seca, foi observado esse mesmo comportamento, porém na camada mais superficial de 0-20 cm, onde o manejo de irrigação plena aportou  $5,41 \text{ mg kg}^{-1}$ , sendo 23 % maior que a média geral, obedecendo o mesmo comportamento dos teores EEG, sugerindo que essa proteína está particularmente relacionada com essa classe de agregados (Tabela 5).

Portanto, esse resultado corrobora com a hipótese que a glomalina no solo promove o processo de microagregação relacionada aos microrganismos pela produção cumulativa de proteínas (LIU et al., 2020).

Tabela 6. Proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível (EEG), EEG nos macroagregados (EEG-MAC), EEG nos microagregados (EEG-MIC) em mg Kg<sup>-1</sup>, taxa de colonização micorrízica (MC) em %, e número de esporos de AMF (S-AMF) recuperados em 50 mL de solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico, em razão de três manejos de irrigação e duas variedades de café no Cerrado no período de chuvas.

	EEG	EEG-MAC	EEG-MIC	MC	S-AMF
0-20 cm					
I	9,04	8,48	5,78	37,27	140
SW	8,2	6,17	4,56	48,11	54
NI	9,27	6,96	5,29	23,44	73
IPR 100	8,76	7,27	5,38	39,55	85
Catuaí 99	8,91	7,13	5,04	33	93
Média geral	8,83	7,2	5,21	36,27	89,5
CV %	7,57	19,8	17,52	24,28	16,91
20-40 cm					
I	6,47	6,27	3,65 a	31,83	78
SW	5,72	4,05	2,91 b	22,28	35
NI	6,33	4,33	3,01 b	20,5	42
IPR 100	6,55	4,61	3,23	27,55	26
Catuaí 99	5,79	5,15	3,16	22,18	77
Média geral	6,17	4,88	3,19	24,87	52,05
CV %	11,84	37,78	11,39	26,99	26,38
40-60 cm					
I	3,85	2,8	1,81	22,01	51
SW	4,13	2,69	1,66	13,03	22
NI	4,22	2,98	1,88	25,72	20
IPR 100	4,14	2,91	1,77	26,08 a	26
Catuaí 99	3,99	2,74	1,8	14,42 b	36
Média geral	4,07	2,82	1,78	20,25	31,05
CV %	20,17	23,13	16,89	29,13	21,5
60-80 cm					
I	3,21	3,17	1,3	18,22 a	40
SW	3,34	2,89	1,03	8,61 b	18
NI	3,4	2,89	1,37	13,66 ab	12
IPR 100	3,02	3,22	1,25	12,55	22
Catuaí 99	3,6	2,75	1,21	14,44	24
Média geral	3,31	2,98	1,23	13,5	23,77
CV %	23,02	69,19	29,09	32,37	33,7

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas para regime hídrico e para as cultivares de café, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05). I – Irrigação plena; SW – Déficit hídrico; NI – Sequeiro.

#### **5.4 Colonização micorrízica e número de esporos de AMF**

A taxa de colonização micorrízica apresentou diferenças significativas apenas nas camadas de 40-60 e 60-80 cm, nas duas épocas de coleta (Tabela 5 e Tabela 6), evidenciando que os AMF têm plena atividade em camadas mais profundas das raízes do cafeeiro e são afetadas pela disponibilidade hídrica.

Quanto às cultivares, na época de chuva, a taxa de colonização micorrízica para a cultivar IPR 100 foi de 26,08 %, 1,8 vezes maior que a cultivar Catuaí 99 na camada de 40-60 cm (Tabela 6), provavelmente pela maior quantidade de raízes produzidas por essa cultivar, que é mais rústica e possui melhor adaptação às altas temperaturas (SERA et al., 2017). Ainda que nesse trabalho não foi avaliada quantidade e volume de raízes, sabe-se que a colonização por AMF depende da presença e quantidade de raízes que podem ser colonizadas, uma vez que esses fungos são biotróficos obrigatórios (SIQUEIRA et al., 1993; SCHULZ & BOYLE, 2005; PEREIRA et al., 2018).

Quanto aos manejos de irrigação, na época chuvosa, a taxa de colonização micorrízica foi maior no sistema de irrigação plena (18,22 %) em relação ao déficit hídrico (8,61 %), na camada de 60-80 cm. Já na época de seca, nas duas últimas camadas avaliadas foi possível observar um aumento da colonização micorrízica no manejo de irrigação plena. Na camada de 40-60 cm, a taxa de colonização no I foi de 27,94 %, maior que o SW (6,89 %) e o sequeiro (11,89 %) (Tabela 5). Na camada de 60-80 cm a taxa de colonização no I foi 5 vezes maior que no SW, mostrando que a umidade do solo afeta positivamente essa simbiose. Um estudo avaliando o comportamento das micorrizas até 40 cm mostrou que em camadas profundas, onde as plantas apresentam menor densidade de raízes e menos propágulos de AMF, a distribuição desses fungos é determinada

também pela umidade do solo (SHUKLA et al., 2013), corroborando com os resultados encontrados nesse trabalho.

Em ambientes úmidos, os AMF aumentam o sequestro de carbono e ainda são eficazes na retenção de nutrientes (PEI et al., 2019), e considerando que o cafeeiro é uma planta altamente dependente dos AMF (SIQUEIRA & COLOZZI-FILHO, 1986), a redução da colonização micorrízica pode diminuir a sustentabilidade das plantações de café, que são cada vez mais dependentes de fertilização e agrotóxicos (FERNANDEZ et al., 2016).

O número de esporos de AMF não diferiu estatisticamente entre as cultivares e nem entre os manejos de irrigação avaliados em nenhuma das épocas avaliadas (Tabela 5 e 6), embora fosse esperado que no manejo se sequeiro houvesse uma maior quantidade de esporos, pois sabe-se que a esporulação é desencadeada quando hospedeiros de plantas são submetidos a estresses abióticos como a seca (GUADARRAMA & ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, 1999). Semelhantemente, alguns estudos indicam uma forte regulação do número de esporos de AMF pelo clima sazonal (FLORES et al., 2019). Um trabalho avaliando a esporulação em duas estações, verificou que a época mais seca proporcionou números maiores de esporos comparado à época de chuvas, pois a restrição hídrica no período de seca induziu os AMF a manifestar mecanismos de adaptação, nesse caso o aumento na esporulação (BOMFIM et al., 2010). Outros autores sugerem que a decomposição de esporos pode ser mais rápida em ambientes mais úmidos, pois também encontraram uma relação negativa entre as quantidades de chuva e a abundância de esporos (ANTONINKA et al., 2015).

A esporulação dos AMF pode ser mediada por vários fatores, como idade da planta hospedeira, fatores climáticos, microbiota e pH do solo, umidade e outros fatores (OEHL et al., 2005). No entanto, o fato de ter encontrado esses resultados, pode estar relacionado ao curto período de implantação do experimento até a coleta do solo, insuficiente para promover diferenças na quantidade desses esporos nos tratamentos avaliados, pois algumas espécies de AMF podem levar um período mais longo para germinar e se desenvolverem diante de uma situação de mudança de manejo (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2017).

### **5.5 Análise de componentes principais**

Como complemento à análise de variância, foi realizada uma análise descritiva através de uma análise de componentes principais (ACP) para um melhor entendimento do comportamento dos atributos entre si e entre a disponibilidade hídrica nas diferentes profundidades.

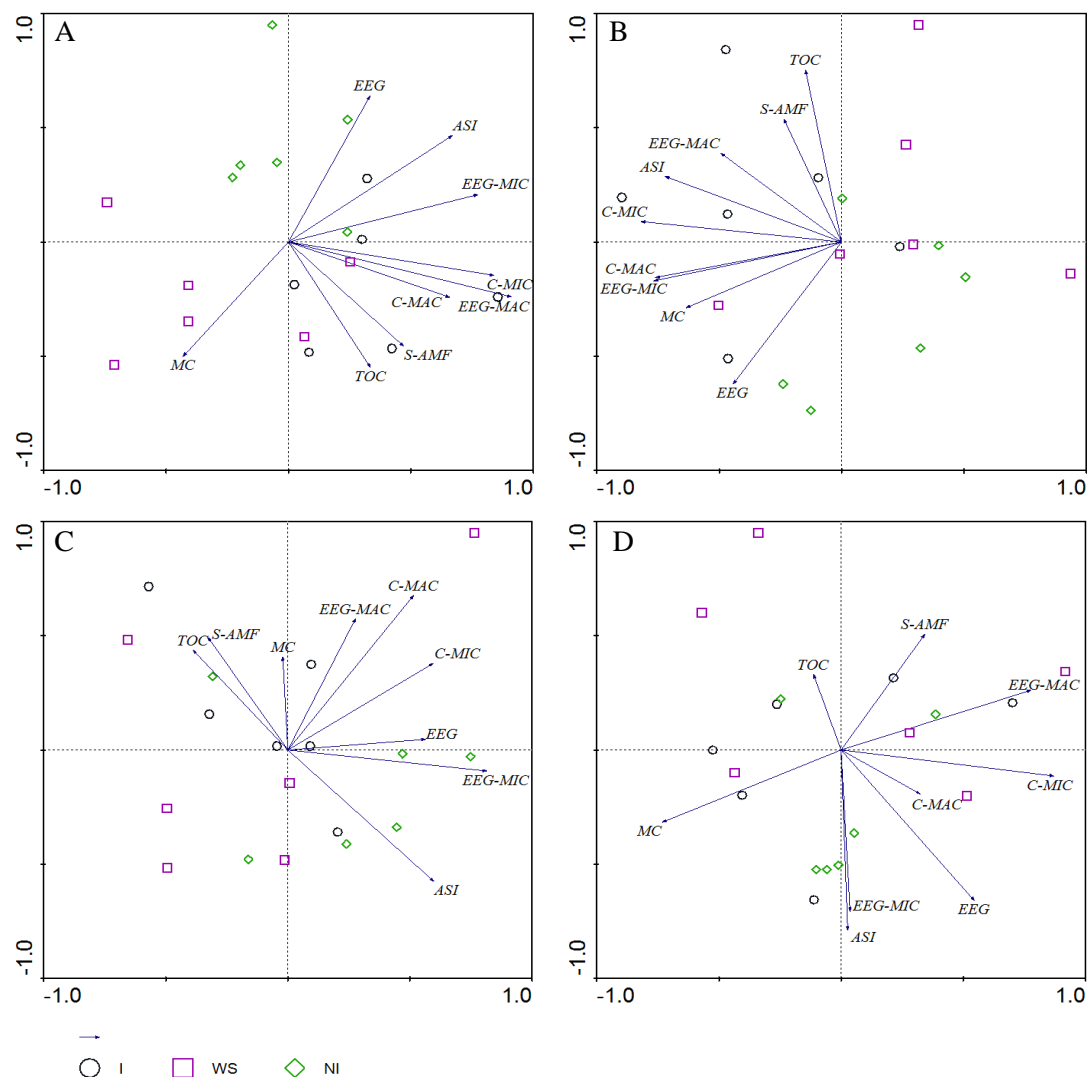
A ACP para o período chuvoso (Figura 2), na profundidade de 0-20 cm (A), têm-se 58,1 % da variabilidade dos dados representados pelos eixos 1 e 2, sendo 40,6 % explicada pelo eixo 1 e 17,5 % pelo eixo 2. Para a profundidade 20-40 cm (B), os eixos 1 e 2 possibilitaram compreender 54,5 % da variabilidade dos dados, sendo 36,5 % explicado pelo eixo 1 e 18 % pelo eixo 2. É possível observar, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, que o manejo de irrigação plena (representada na figura pelo símbolo circular) favoreceu as maiores médias dos parâmetros avaliados, com exceção da colonização micorrízica, na camada de 0-20 cm, que apresentou as maiores médias sob o manejo de déficit hídrico (Tabela 6).

Na profundidade 40-60 cm (C), 46,3 % da variabilidade total dos dados encontra-se representada pelos eixos 1 e 2, com 25,5 % desta variabilidade explicada pelo eixo 1 e

20,8 % pelo eixo 2. Nessa profundidade, a ACP evidencia que o manejo de déficit hídrico está associado com as menores médias de carbono de macro e microagregados, bem como com as menores médias dos teores de glomalina facilmente extraível do solo e nos macroagregados. Já para o manejo de sequeiro verificou-se uma maior associação com maiores médias do índice de estabilidade de agregados e teor de glomalina facilmente extraível nos microagregados.

Na profundidade de 60-80 cm (D), embora os eixos 1 e 2 tenham expressado 50,8 % da variabilidade total dos dados, sendo 27 % explicado pelo eixo 1 e 23,8 % explicado pelo eixo 2, não há uma separação clara entre os manejos de irrigação, com ausência de variação entre as médias para os atributos avaliados, exceto para colonização micorrízica (Tabela 6), onde os maiores valores foram encontrados no tratamento sob irrigação plena. Já o tratamento déficit hídrico esteve relacionado a baixas taxas de colonização micorrízica.



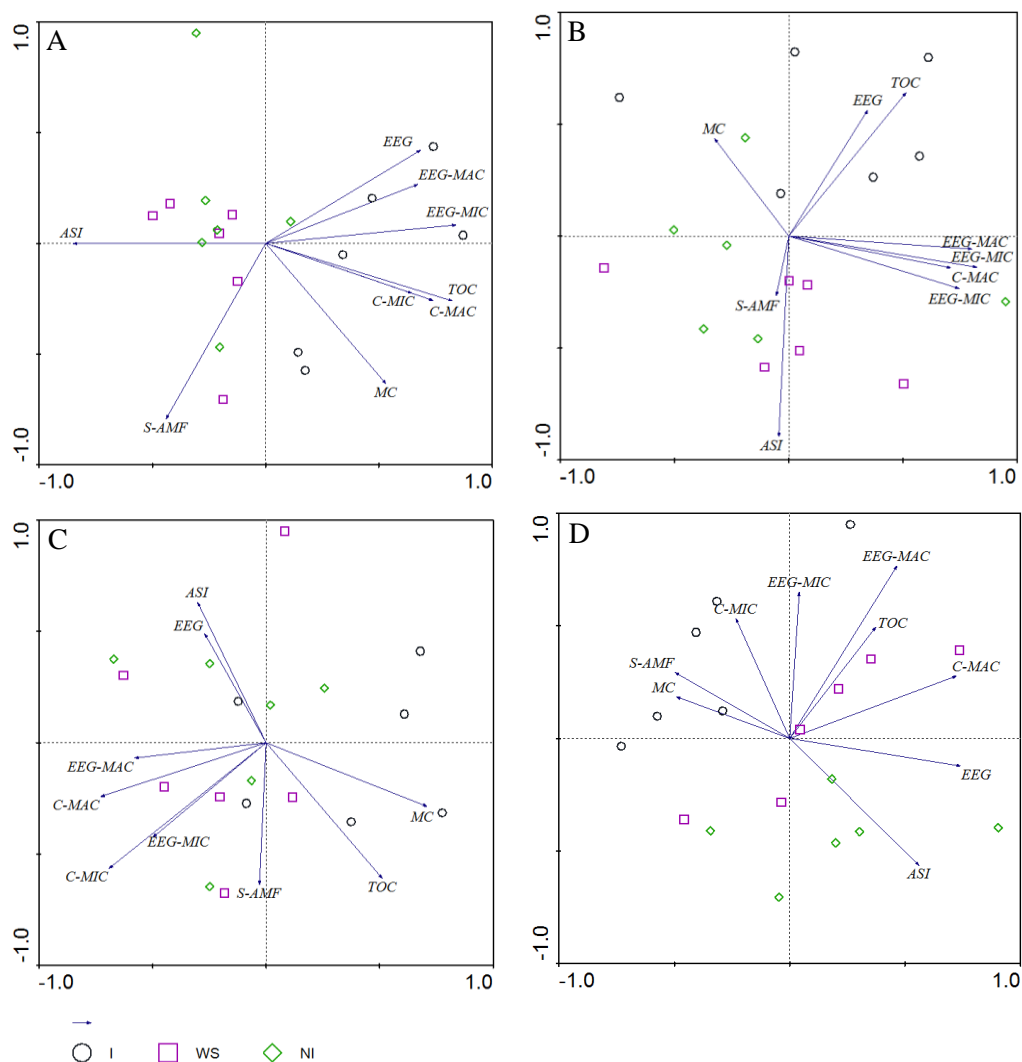


**Figura 2.** Análises de componentes principais de atributos do solo (TOC - carbono orgânico total; C-MAC – carbono orgânico total nos macroagregados; C-MIC – carbono orgânico total nos microagregados; EEG – proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível; EEG-MAC - proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos macroagregados; EEG-MIC - proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos microagregados; ASI – índice de estabilidade de agregados; MC – colonização micorrízica; S-AMF – número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em quatro profundidades (A: 0-20 cm; B: 20-40 cm; C: 40-60 cm; D: 60-80 cm), cultivado com café submetido a diferentes regimes de irrigação (I – irrigação plena; WS – déficit hídrico; NI – sequeiro), no período chuvoso, em Planaltina-DF.

No período de seca (Figura 3), para a profundidade de 0-20 cm (A), têm-se 66 % da variabilidade dos dados representados pelos eixos 1 e 2, sendo 49,6 % explicada pelo eixo 1 e 16,4 % pelo eixo 2. Para a profundidade 20-40 cm (B), os eixos 1 e 2 possibilitaram compreender 53 % da variabilidade dos dados, sendo 32 % explicado pelo eixo 1 e 21 % pelo eixo 2. Em ambas as profundidades, o gráfico apresenta uma separação

do manejo de irrigação plena para os demais manejos, associado com os teores de carbono e glomalina facilmente extraível acima da média geral dos dados, enquanto os manejos de déficit hídrico e sequeiro apresentam índice de estabilidade de agregados e número de esporos acima da média.

Na profundidade 40-60 cm (C), 51 % da variabilidade total dos dados encontra-se representada pelos eixos 1 e 2, com 28 % desta variabilidade explicada pelo eixo 1 e 23 % pelo eixo 2. Na profundidade de 60-80 cm (D), os eixos 1 e 2 expressaram 48,8 % da variabilidade total dos dados, sendo 27,7 % explicado pelo eixo 1 e 21,1 % explicado pelo eixo 2. Nessas camadas mais profundas, as principais observações evidenciadas pela ACP indicam que o manejo sob condição de sequeiro apresentou maiores teores totais de glomalina facilmente extraível e os maiores índices de estabilidade de agregados. Tanto a colonização micorrízica quanto o número de esporos foram favorecidos pelo manejo de irrigação plena e, no manejo de déficit hídrico, o teor de glomalina facilmente extraível nos macro e microagregados foram os atributos que se destacaram, apresentando valores acima da média, em comparação aos demais manejos.



**Figura 3.** Análises de componentes principais de atributos do solo (TOC - carbono orgânico total; C-MAC – carbono orgânico total nos macroagregados; C-MIC – carbono orgânico total nos microagregados; EEG – proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível; EEG-MAC - proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos macroagregados; EEG-MIC - proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível nos microagregados; ASI – índice de estabilidade de agregados; MC – colonização micorrízica; S-AMF – número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em quatro profundidades (A: 0-20 cm; B: 20-40 cm; C: 40-60 cm; D: 60-80 cm), cultivado com café submetido a diferentes regimes de irrigação (I – irrigação plena; WS – déficit hídrico; NI – sequeiro), no período de seca, em Planaltina-DF.

## **6- CONCLUSÕES**

O manejo de irrigação plena, independentemente dos períodos avaliados, promoveu maior acúmulo de TOC, principalmente nas camadas superficiais.

A estabilidade dos agregados do solo foi favorecida pelos manejos de sequeiro e déficit hídrico na cultura do café até a profundidade de 80 cm, no período de seca.

Existe uma relação entre da EEG com a estabilidade dos agregados nas camadas profundas independente do manejo de irrigação e dos períodos avaliados.

Os AMF foram influenciados positivamente pela irrigação plena nas camadas subsuperficiais durante o período de seca.

O número de esporos não foi influenciado pelos manejos de irrigação e nem pelas cultivares em nenhum período avaliado.

## 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAYA, M. L. A.; GÁLVEZ, R. J.; RAMOS, C. H.; FIGUEROA, M. S.; VARGAS, C. T. M. Biofertilizer of organic coffee in stage of seedlings in Chiapas, México. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.2, p.417-431, 2011.
- ANDRADE, S. A. L.; MAZZAFERA, P.; SCHIAVINATO, M. A.; SILVEIRA, A. P. D. Arbuscular mycorrhizal association in coffee. **The Journal of Agricultural Science**, v.147, p.105-115, 2009.
- ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D.; MAZZAFERA, P. Arbuscular mycorrhiza alters metal uptake and the physiological response of *Coffea Arabica* seedlings to increasing Zn and Cu concentrations in soil. **Science of the Total Environment**, v.408, p.5381-5391, 2010.
- ANDREWS, M.; CRIPPS, M. G.; EDWARDS, G. R. The potential of beneficial microorganisms in agricultural systems. **Annals of Applied Biology**, v.160, p.1-5, 2012.
- ANDRUSCHKEWITSCH, R.; KOCH, H.J.; LUDWIG, B. Effect of long-term tillage treatments on the temporal dynamics of water-stable aggregates and on macro-aggregate turnover at three German sites. **Geoderma**, v.217-218, p.57-64, 2014.
- ANTONINKA, A. J.; RITCHIE, M. E.; JOHNSON, N. C. The hidden Serengetidmycorrhizal fungi respond to environmental gradient. **Pedobiologia**, v.58, p.165-176, 2015.
- ARIAS, R.M.; HEREDIA-ABARCA, G.; SOSA, V. J.; FUENTES-RAMÍREZ, L. E. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, México. **Agroforestry Systems**, v.85, p.179–193, 2012.
- ASANO, M.; WAGAI, R. Evidence of aggregate hierarchy at micro- to submicron scales in an allophanic Andisol. **Geoderma**, v.216, p.62–74, 2014.
- AUGÉ, R. M. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. **Canadian Journal of Soil Science**, v.84, p.373–381, 2004.
- AUGÉ, R. M. Water relation, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v.11, p.3-42, 2001.
- AUGÉ, R. M.; TOLER, H. D.; SAXTON, A. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: A meta-analysis. **Mycorrhiza**, v.25, p.13-24, 2015.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. A. Organic matter storage in a sandy loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.54, n. 1, p. 101- 109, 2000.
- BEENHOUWER, M.; MULETA, D.; PEETERS, B.; VAN GEEL, M.; LIEVENS, B.; HONNAY, O. DNA pyrosequencing evidence for large diversity differences between

natural and managed coffee mycorrhizal fungal communities. **Agronomy Sustainable Development**, v.35, p.241–249, 2014.

BEENHOUWER, M.; VAN GEEL, M.; CEULEMANS, T.; MULETA, D.; LIEVENS, B.; HONNAY, O. Changing soil characteristics alter the arbuscular mycorrhizal fungi communities of Arabica coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia across a management intensity gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v.91, p.133–139, 2015.

BONFIM, J. A.; MATSUMOTO, S. N.; LIMA, J. M.; CÉSAR, F. R. C. F.; SANTOS, M. A. F. Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. **Bragantia**, v. 69, n.1, p. 206-206, 2010.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, p.3–22, 2005.

BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. **Plant Soil**, v.320, p.37–77, 2009.

BSCA. Associação brasileira de cafés especiais, 2019.

BUNN, C.; LÄDERACH, P.; PEREZ JIMENEZ, J. G.; MONTAGNON, C.; SCHILLING, T. Multiclass classification of agro-ecological zones for arabica coffee: an improved understanding of the impacts of climate change. **Plos One**, v.10, p.1-16, 2015.

BUYER, J. S.; ZUBERER, D. A.; NICHOLS, K. A.; FRANZLUEBBERS, A. J. Soil microbial community function, structure, and glomalin in response to tall fescue endophyte infection. **Plant and Soil**, v.339, p.401-412, 2011.

CAI, C. T.; CAI, Z. Q.; YAO T. Q.; QI, X. Vegetative growth and photosynthesis in coffee plants under different watering and fertilization managements in Yunnan, SW China **Photosynthetica**, v.45, p.455-461, 2007.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Climatic classification of Köppen-Geiger for the state of Goiás and the Federal District. **Acta Geográfica**, v.8, p.40-55, 2014.

CARRIZO, M. E.; ALESSO, C. A.; COSENTINO, D.; IMHOFF, S. Aggregation agentes and structural stability in soils with different textura and organic carbono contentes. **Scientia agrícola**, v. 72, p.75-82, 2015.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CERRI, C. C.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; TOLEDO, F. H. R. B.; CASTIGIONI, B. A.; RODRIGUES, G. A. A.; CERRI, D. G. P.; CERRI, C. E. P.; TEIXEIRA, A. A.; CANDIANO, C. A. C.; REIS, M. R.; D'ALESSANDRO, S. C.; TURELLO, L. Soil carbon and nitrogen stocks due to land use change in coffee areas at minas gerais state. **Coffee Science**, v.12, p.30-41, 2017.

CHATTERJEE, S.; BANDYOPADHYAY, K. K.; PRADHAN, S.; SINGH, R., DATTA, S. P. Effects of irrigation, crop residue mulch and nitrogen management in maize (*Zea mays* L.) on soil carbon pools in a sandy loam soil of Indo-gangetic plain region. **Catena**, v.165, p.207-216, 2018.

CHAVES, J. C. D. **Manejo do solo: Adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira**. Instituto Agrônômico do Paraná- IAPAR. Londrina-PR, 36p, 2002.

COGO, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; ROJAS, E. P.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Arbuscular mycorrhiza in *Coffea arabica* L.: review and meta-analysis. **Coffee Science**, v.12, p.419-443, 2017.

COLOZZI-FILHO, A.; CARDOSO, E. J. B. N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2033-2042, 2000.

COLOZZI-FILHO, A.; SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; GUIMARÃES, P. T. G.; OLIVEIRA, E. Efetividade de diferentes fungos endomicorrízicos na formação, crescimento pós-transplante e produção do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.1397-1406, 1994.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 416p, 2004.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.55–81, 2006.

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.485–510, 2007.

DAVIS, A. P.; GOLE, T. W.; BAENA, S.; MOAT, J. The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Predicting Future Trends and Identifying Priorities. **Plos One**, v.7, p.1-13, 2012.

DAYNES, C. N.; FIELD, D. J.; SALEEBA, J. A.; COLE, M. A.; MCGEE, P. A. Development and stabilisation of soil structure via interactions between organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi and plant roots. **Soil Biology and Biochemistry**, v.57, p.683–694, 2013.

DOBO, B.; ASEFA, F.; ASFAW, Z. Effect of tree-enstet-coffee based agro-forestry practices on arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species diversity and spore density. **Agroforestry Systems**, v.92, p.525-540, 2018.

DOMINGHETTI, A. W.; SCALCO, M. S.; GUIMARÃES, R. J.; SILVA, D. R. G.; CARVALHO, J. P. S.; PEREIRA, V. A. Doses de fósforo e irrigação na nutrição foliar do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.1235–1240, 2014.

EMBRAPA. Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 353p., 2013.

FARINA, E. M. M. Q.; ZYLBERSZTAJN, D. **Competitividade no agribusiness brasileiro**. São Paulo: USP, 136p, 1998.

FERNANDES, R. A.; FERREIRA, D. A.; SAGGIN-JUNIOR, O. J.; STURMER, S. L.; PAULINO, H. B.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Occurrence and species richness of mycorrhizal fungi in soil under different land use. **Canadian Journal of Soil Science**, v.96, p.271-280, 2016.

FERNÁNDEZ, R.; QUIROGA, A.; ZORATI, C.; NOELLEMAYER, E. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. **Soil and Tillage Research**, v.109, p.103-109, 2010.

FERRÃO, A. M. A. **Arquitetura do café**. Editora Unicamp. São Paulo-SP, 296p, 2004.

FIERER, N.; SCHIMEL, J. P.; CATES, R. G.; ZOU, J. Influence of balsam poplar tannin fractions on carbon and nitrogen dynamics in Alaskan taiga floodplain soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, p.1827–1839, 2001.

FLORES, P. S.; BUENO, C. G.; NEIRA, J.; PALFNER, G. Factors affecting arbuscular mycorrhizal fungi spore density in the Chilean Mediterranean-type ecosystem. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.19, p.42-50, 2019.

GARLAND, G.; BUNEMANN, E. K.; OBERSON, A.; FROSSARD, E.; SIX, J. Plant-mediated rhizospheric interactions in maize-pigeon pea intercropping enhance soil aggregation and organic phosphorus storage. **Plant soil**, v.415, p.37-55, 2017.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v.46, p.234–244, 1963.

GIANINAZZI, S.; GOLLOTTE, A.; BINET, M. N. N.; VAN TUINEN, D.; REDECKER, D.; WIPF, D. Agroecology: The key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v.20, p.519–530, 2010.

GIONVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infections in roots. **New Phytologist**, v.84, p.489–500, 1980.

GOMES, B. V.; CURI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 137-153, 2004.



GUADARRAMA, P.; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, F. J. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest. **Mycorrhiza**, v.8, p.267–270, 1999.

HANKE, D.; DICK, D. P. Aggregate stability in soil with humic and hystic horizons in a toposequence under araucária forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.41, 2017.

HEIDJEN, M. G. A. V.; BOLLER, T.; WIENKEN, A.; SANDERS, I. R. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. **Ecology**, v.79, p.2082–2091, 1998.

HINSINGER, P. Biologyavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, v.237, p.173-195, 2001.

HODGE, A.; CAMPBELL, C. D.; FITTER, A. H. An arbuscular mycorrhizal fungi accelerates decomposition and acquires nitrogen directiy from organic material. **Nature**, v.413, p.297-299, 2001.

HONTORIA, C.; GÓMEZ-PACCARD, C.; MARISCAL-SANCHO, I.; BENITO, M.; PÉREZ, J.; ESPEJO, R. Aggregate size distribution and associated organic C and N under different tillage systems and Ca-amendment in a degraded Ultisol. **Soil and Tillage Research**, v.160, p.42-52, 2016.

HUANG, Y.; WANG, D. W.; CAI, J. L.; ZHENG, W. S. Review of glomalin-related soil protein and its environmental function in the rhizosphere. **Chinese Journal of Plant Ecology**, v.35, p.232–236, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019.

ICO – INTERNACIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2019.

JANSE, J. M. Les endophytes radicaux de quelques plantes javanaises. **Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg**, v.14, p.53–201, 1897.

Jl, L.; TAN, W.; CHEN, X. Arbuscular mycorrhizal mycelial networks and glomalin-related soil protein in crease soil aggregation in Calcaric Regosol under well-watered and drought stress conditions. **Soil and Tillage Research**, v.185, p.1-8, 2019.

JOHANSSON, J. F.; PAUL, L. R.; FINLAY, R. D. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. **Microbiology Ecology**, v.48, p.1-13, 2004.

JOSHI, A. K. Genetic factors affecting abiotic stress tolerance in crop plants. **Handbook of Plant and Crop Stress**, p.795-826, 1999.

KAHILUOTO, H.; KETOJA, E.; VESTBERG, M. Plant-available P supply is not the main factor determining the benefit from arbuscular mycorrhizato crop P nutrition and growth in contrasting cropping systems. **Plant and Soil**, v.350, p.85- 98, 2012.

KEMPER, W.; ROSENAU, R. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy

Monograph. **American Society of Agronomy and Soil Science Society of America**, p.425-442, 1986.

KLEIN, C. KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – ReGet**. v.19, p.21-29, 2015.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; ADAIR, H. **Integração lavoura - pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 570 p., 2003.

LAL, R. Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.70, p.329-339, 2015.

LEIFHEIT, E. F.; VERESOGLOU, S. D.; LEHMANN, A.; MORRIS, E. K.; RILLIG, M. C. Multiple factors influence the role of arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregation – a meta-analysis. **Plant and Soil**, v.374, p.523–537, 2014.

LIU, H.; WANG, X.; LIANG, C.; AI, Z.; WU, Y.; XU, H.; XUE, S.; LIU, G. Glomalin-related soil protein affects soil aggregation and recovery of soil nutrients following natural revegetation on the Loess Plateau. **Geoderma**, v.357, 2020.

LIU, X.; LI, F.; ZHANG, Y.; YANG, Q.; Effects of deficit irrigation on yield and nutritional quality of Arabica coffee (*Coffea arabica*) under different N rates in dry and hot region of southwest China. **Agricultural Water Management**, v.172, p.1-8, 2016.

LOMBARDO, L.; PALESE, A. M.; GRASSO, F.; DUFFY, D. H.; BATI, C. B.; XILOYANNIS, C. Mechanical tillage diversely affects glomalin content, water stable aggregates and arbuscular fungal community in the soil profiles of two differently managed olive orchards. **Biomolecules**, v.9, p.639, 2019.

LÓPEZ-MERINO, L.; SERRANO, O.; ADAME, M. F.; MATEO, M. A.; CORTIZAS, A. M. Glomalin accumulated in seagrass sediments reveals past alterations in soil quality due to land-use change. **Global and Planetary Change**, v.133 p.87–95, 2015.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; DE PAULA KOUCHER, L.; DE OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.1212-1224, 2015.

LOZANO, E.; JIMÉNEZ-PINILLA, P.; MATAIX-SOLERA, J.; ARCENEGUI, V.; MATAIX-BENEYTO, J. Sensitivity of glomalin-related soil protein to wildfires: immediate and medium-term changes. **The Science of the Total Environment**, v.572, p.1238-1243, 2016.

MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; ANDRADE, A. G.; VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.80, p.185-200, 2005.

MAHDHI, M.; TOUNEKT, T.; AL-TURKI, T. A.; KHEMIRA, H. Composition of the root mycorrhizal community associated with *Coffea arabica* in Fife Mountains (Jazan region, Saudi Arabia). **Journal of Basic Microbiology**, v.57, p.691-698, 2017.

MARTINS NETO, F. L.; MATSUMOTO, S. N. Qualidade do solo e nutrição de plantas em sistemas de produção de café (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v.5, p.206-213, 2010.

MARTINS, E.; APARECIDO, L. E. O.; SANTOS, L. P. S.; MENDONÇA, J. M. A.; SOUZA, P. S. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do café produzido na região do sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v.10, p.499-506, 2015.

MATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.55-81, 2006.

MELO, E. F.; FERNANDES-BRUM, C. N.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; CHALFUN-JUNIOR, A.; Anatomic and physiological modifications in seedlings of *Coffea arabica* cultivar Siriema under drought conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, p.25-33, 2014.

MENDONÇA, L. M. V. L.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES, A. N. G. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência, Tecnologia e Alimentos**, v.25, p.239-243, 2005.

MINIUSI, M.; DEL TERRA, L.; SAVI, T.; PALLAVICINI, A.; NARDINI, A. Aquaporins in *Coffea arabica* L.: Identification, expression, and impacts on plant water relations and hydraulics. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.95, p.92-102, 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2a edição ed. Lavras, MG: UFLA, p.729, 2006.

MOREIRA, S. D.; FRANÇA, A. C.; ROCHA, W. W.; TIBÃES, E. S. R.; NEIVA JÚNIOR, E. Inoculation with mycorrhizal fungi on the growth and tolerance to water deficit of coffee plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.747-752, 2018.

MOTA SOBRINHO, A. **A civilização do café (1820-1920)**. Editora Brasiliense, São Paulo, 184p, 1967.

MULETA, D.; ASSEFA, F.; NEMOMISSA, S.; GRANHALL, U. Composition of coffee shade tree species and density of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spores in Bonga natural coffee forest, southwestern Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v.241, p.145-154, 2007.

NARESH, R. K.; GUPTA, R. K.; GAJENDRA, P.; DHALIWAL, S. S.; KUMAR, D.; KUMAR, V.; ARYA, V. K.; RAJU, S. P.; SINGH S. P.; BASHARULLAH; SINGH, O.; KUMAR, P. Tillage crop establishment strategies and soil fertility management: resource use efficiencies and soil carbon sequestration in a rice-wheat cropping system. **Ecology, Environment and conservation**, v.21, p.121-128, 2015.

NARESH, R. K.; GUPTA, R. K.; JAT, M. L.; SINGH, S. P.; DWIVEDI, A.; DHALIWAL, S. S.; KUMAR, V.; KUMAR, L.; SINGH, O.; SINGH, V.; KUMAR, A.; RATHORE, R. S. Tillage, irrigation levels and rice straw mulches effects on wheat productivity, soil aggregates and soil organic carbon dynamics after rice in sandy loam soils of subtropical climatic conditions. **Journal of pure and applied microbiology**, v.10(3), p.1987-2002, 2016.

NICHOLS, K. A.; WRIGHT, S. F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. **Soil Science**, v.170, p.985–997, 2005.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v.76, p.319–337, 1984.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; RIS, E.A.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. **New Phytologist**, v.165, p.273–283, 2005.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. Q.; JESUS, E. C.; LISBOA, F. J.; BERBARA, R. L. L.; FARIA, S. M. Nitrogen-fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.48, p.95-100, 2017.

ORMOND, J. G. P.; PAULA, S. R. L.; FAVARET FILHO, P. Café: (re)conquista dos mercados. **BNDES Setorial**, v.10, p.3-56, 1999.

ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M. Café do cerrado: certificação de origem, nova sociologia econômica e desenvolvimento territorial rural. **Economia Agrária, Espaço e Meio ambiente**, p.22, 2015.

PATANÉ, C.; TRINGALI, S.; SORTINO, O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. **Scientia Horticulturae**, v.129, p.590–596, 2011.

PEI, L.; YE, S.; YUAN, H.; PEI, S.; XIE, S.; WANG, J. Glomalin-related soil protein distributions in the wetlands of the Liaohe Delta, Northeast China: Implications for carbon sequestration and mineral weathering of coastal wetlands. **Limnology and oceanography**, p.1-13, 2019.

PERDONÁ, M. J.; SORATTO, R. P.; Irrigation and intercropping with macadamia increase initial Arabica coffee yield and profitability. **Agronomy Journal**, v.107, p.615–626, 2015.

PEREIRA, A. L.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, Z. M.; CAVALCANTE, I.H. L.; SILVA, V. A.; MARTINS FILHO, M. V. Soil attributes under pasture system with and without irrigation. **Ciência e agrotecnologia**, v.33, p.377-384, 2009.

PEREIRA, A. P. A.; SANTANA, M. C.; BONFIM, J. A.; MESCOLOTTI, D. L.; CARDOSO, E. J. N. Digging deeper to study the distribution of mycorrhizal arbuscular fungi along the soil profile in pure and mixed *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* plantations. **Applied Soil Ecology**, v.128, p.1-11, 2018.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesement of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v.55, p.458–161, 1970.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v.84, p.355–363, 2004.

RILLIG, M. C.; MARDATIN, N. F.; LEIFHEIT, E. F.; ANTUNES, P. M. Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is sufficient to maintain water-stable soil aggregates. **Soil Biology and Biochemistry**, v.42, p.1189–1191, 2010.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, v.17, p.41–53, 2006.

RILLING, M. C.; AGUILAR-TRIGUEIROS, C. A.; BERGMANN, J.; VERBRUGGEN, E.; VERESOGLOU, S. D.; LEHMANN, A. Plant root and mycorrhizal fungal traits for understanding soil aggregation. **New Phytologist**, v.205, p.1385-1388, 2015.

ROCHA, O. C.; RAMOS, M. L. G.; VEIGA, A. D.; GUERRA, A. F., BARTHOLO, G. F.; RODRIGUES, G. C.; SILVA, J. E. Chemical and hydrophysical attributes of an Oxisol under coffee intercropped with brachiaria in the Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.51, p.1476-1483, 2016.

RUIZ-LOZANO, J. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. **Mycorrhiza**, v.13, p.309–317, 2003.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.221-228, 1995.

SAKAI, E.; BARBOSA, E. A. A.; SILVEIRA, J. M. C.; PIRES, R. C. M. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.148, p.16–23, 2015.

SANCHEZ, C.; MONTILLA, E.; RIVERA, R; CUPULL, R. Comportamiento de 15 cepas de hongos micorrizogenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto en un suelo pardo gleyoso. **Revista Forestal Latinoamericana**, v.38, p.83–95, 2005.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 1279p, 2008.

SANTESTEBAN, L.G.; MIRANDA, C.; ROYO, J.B. Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. ‘Tempranillo’. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1171–1179, 2011.

SCHULZ, B.; BOYLE, C. The endophytic continuum. **Mycological Research**, v.109, p.661-686, 2005.

SCHWEIGER, P.; JAKOBSEN, I. Laboratory and field methods for measurement of hyphal uptake of nutrients in soil. **Plant and Soil**, v.226, p.237–244, 2000.

SERA, T.; SERA, G. H.; FAZUOLI, L. C.; MACHADO, A. C. Z.; ITO, D. S.; SHIGUEOKA, L. H.; SILVA, S. A. IPR 100 – Rustic dwarf Arabica coffee cultivar with resistance to nematodes *Meloidogyne paranaensis* and *M. incógnita*. **Croo Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p.175-179, 2017.

SEWNET, T. C.; TUJU, F. A. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with shade trees and *Coffea arabica* L. in a coffee-based agroforestry system in Bonga, Southwestern Ethiopia. **Afrika Focus**, v.26, p.111–31, 2013.

SHUKLA, A.; VYAS, D.; JHA, A. Soil depth: an overriding factor for distribution of Arbuscular Mycorrhizal fungi. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.13, p.23–33, 2013.

SILVA, A. M. M.; RAMOS, M. L. G.; NASCIMENTO, R. S. M. P.; SILVA, A. N.; SILVA, S. B.; CARDOSO, E. J. B. N.; PAULA, A. M. Soil quality indicators under management systems in a Quilombola community in the Brazilian Cerrado. **Scientia Agricola**, v.76, n.6, p.518-526, 2019.

SINGH, A. K.; RAI, A.; PANDEY, V.; SINGH, N. Contribution of glomalin to dissolve organic carbon under different land uses and seasonality in dry tropics. **Journal of Environmental Management**, v.192, p.142–149, 2017.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro: II., efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.207-211, 1986.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; GUIMARÃES, P. T. G.; OLIVEIRA, E. Crescimento de mudas e produção do cafeeiro sob influência de fungos micorrízicos e superfosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.53–60, 1993.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN-JUNIOR, O. J.; FLORES-AYLAS, W. W.; GUIMARÃES, P. T. G. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. **Mycorrhiza**, v.7, p.293–300, 1998.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v.79, p.7–31, 2004.

SIX, J.; FREY, S.D.; THIET, R.K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.555–569, 2006.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic Press, London, 3rd ed, 2008.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. Elsevier/Acad Press, Amsterdam, 3. Ed, 2010.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; RIBEIRO, D. O.; BAYER, C.; ROTTA, L. A. Organic matter and soil aggregation after the conversion of “murundu

fields” into a no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1194-1202, 2016.

SOUZA, S. M. C.; CARVALHO, V. D. Classificação de propriedades e municípios cafeeiros da região Sul do Estado de Minas Gerais, quatro a estruturas e procedimentos, visando á preservação da qualidade do café. **Ciência e Agrotecnologia**, v.22, p.435- 443, 1998.

STÜMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Fungos micorrízicos. In: MOREIRA, F. S. (Ed.). **O ecossistema solo**. Lavras: Ed. UFLA, p.289-310, 2013.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. **Mycorrhiza**, v.21, p.255–267, 2011.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **Canoco. Reference manual and user’s guide to Canoco for windows: software for Canonical Community Ordination (Version 4)**. Microcomputer Power, Ithaca, NY, 1998.

THOMAZ, E. L. High fire temperature changes soil aggregate stability in slash-and-burn agricultural systems. **Scientia Agricola**, v.74, p.157-162, 2017.

VAAST, P.; CASWELL-CHEN, E. P.; ZASOSKI, R. J. Influences of a root-lesion nematode, *Pratylenchus coffeae*, and two arbuscular mycorrhizal fungi, *Acaulospora mellea* and *Rhizophagus clarus* on coffee (*Coffea arabica* L.). **Biology and Fertility of Soils**, v.26, p.130-135, 1998.

VAAST, P.; ZASOSKI, R. J.; BLEDSOE, C. S. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation at different soil P availabilities on growth and nutrient uptake of in vitro propagated coffee (*Coffea arabica* L.) plants. **Mycorrhiza**, v.6, p.493–497, 1996.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos do cerrado**. EMBRAPA. Planaltina, 524p, 1997.

VINECKY, F.; DAVRIEUX, F.; MERA, A. C.; ALVES, G. S. C.; LAVAGNINI, G.; LEROY, T.; BONNOT, F.; ROCHA, V.; BARTHOLO, G. F.; GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; MARRACCINI, P.; ANDRADE, A. C. Controlled irrigation and nitrogen, phosphorous and potassium fertilization affect the biochemical composition and quality of Arabica coffee beans. **Journal of Agricultural Science**, v.155, p.902-918, 2017.

VLCEK, V.; POHANKA, M. Glomalin – an interesting protein part of the soil organic matter. **Soil and water research**, 2019.

WALLER, J. M.; BIGGER, M.; HILLOCKS, R. J. **Coffee Pests, Diseases and Their Management**. CABI, 400p, 2007.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. **Soil Science**, v.161, p.575-586, 1996.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature erosion losses. **Journal American Society Agronomy**, v.28, p.337-351, 1936.

ZHANG, S.; LI, Q.; ZHANG, X.; WEI, K.; CHEN, L.; LIANG, W. Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of Northeast China. *Soil Tillage Research*, v.124, p. 196-202, 2012.

ZHU, X. C.; SONG, F. B.; LIU, S. Q.; LIU, T. D.; ZHOU, X. Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. **Plant Soil Environ**, v.58, p.186–191, 2012.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J. A.; GABARRÓN, M.; GARRIDO, M. G.; NAVARRO, V. S.; TERRERO, A.; MARTÍNEZ, S. M.; FAZ, A.; PASTOR, A. P. Greenhouse gas emissions and soil organic matter dynamics in woody crop orchards with different irrigation regimes. **Science of the total environment**, v.644, p.1429-1438, 2018.